МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. Г. КОВАЛЕВ

электронные регуляторы напряжения для автомобилей





МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 784

В. Г. КОВАЛЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1971

6Ф2.9
К 56
УДК 621.316.722:621.382

Ковалев В. Г.

К 56 Электронные регуляторы напряжения для автомобилей. М., «Энергия», 1971.

48 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 784).

Изложены принципы работы электронных регуляторов напряжения, ограничителей тока и реле обратного тока. Приведены схемы практически для всех легковых и большинства грузовых отечественных автомобилей. Предлагаемые регуляторы проверены в эксплуатации и не содержат дефицитных деталей, просты в изготовлении и наладке.

Брошюра рассчитана на радиолюбителей-конструкторов и автолюбителей.

3-4-5
297-71

6Ф2.9

Предисловие

Регулятор напряжения — обязательный элемент любого автомобиля. В настоящее время широко применяют электромеханические реле-регуляторы, имеющие низкую надежность и доставляющие много хлопот при их эксплуатации.

Электронные регуляторы обладают рядом преимуществ, однако они не получили до сих пор широкого распространения. Одна из причин этого — отсутствие каких-либо пособий по их разработке и простых схем регуляторов для различных автомобилей.

Читатели, не интересующиеся теоретическими вопросами проектирования регуляторов напряжения, могут опустить первую и вторую главы и выбрать одну из схем в зависимости от напряжения и полярности «массы» электрооборудования автомобиля. Необходимые пояснения даются при описании схем.

Электронные регуляторы разработаны таким образом, что при надлежащем конструктивном выполнении они полностью заменяют стандартные реле-регуляторы, т. е. могут быть размещены на том же месте и включены без каких-либо изменений в схеме электрооборудования автомобиля.

Автор не претендует на полноту охвата всего многообразия схем в совершенно новой и быстро развивающейся области и будет благодарен за все замечания и рекомендации, которые следует направлять по адресу: Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, «Массовая радиобиблиотека».

Глава первая

РАБОТА РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ, ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ТОКА, РЕЛЕ ОБРАТНОГО ТОКА

Назначение регуляторов напряжения. Оптимальное напряжение сети электрооборудования

Основным источником электрической энергии на автомобиле служит генератор. Он предназначен для питания всех потребителей электрической энергии и заряда аккумуляторной батареи при работе двигателя.

Первоначальное возбуждение генератора обеспечивается остаточным магнетизмом его стального корпуса и полюсных наконечников, в результате чего уже при небольших оборотах якоря индуцируется э. д. с. примерно 0,5—2 *в*. Появляется ток в цепи обмотки возбуждения, благодаря чему намагничивание корпуса и полюсных наконечников усиливается и э. д. с. в обмотке якоря повышается. При 800—1 000 оборотах в минуту якоря генератора э. д. с. 6-вольтовых генераторов достигает 7—8 *в*, 12-вольтовых генераторов 13—15 *в*, а 24-вольтовых 26—30 *в*.

Индуцируемая генератором э. д. с. возрастает при увеличении магнитного потока возбуждения и оборотов якоря и уменьшается с увеличением тока нагрузки генератора. Количество оборотов двигателя автомобиля изменяется в процессе работы в 6—8 раз, нагрузка — примерно в 10 раз.

Отсюда следует, что для поддержания постоянства напряжения на нагрузке необходимо регулировать магнитный поток возбуждения генератора. Он регулируется изменением тока, проходящего по обмотке возбуждения генератора.

Изменение тока возбуждения по определенному закону в зависимости от изменения числа оборотов и нагрузки генератора осуществляется регулятором напряжения. При всех возможных режимах работы генератора (отключенных и полностью включенных потребителях электроэнергии, номинальных и максимальных оборотах двигателя), а также при изменениях температуры окружающей среды и влажности отклонение напряжения на потребителях электроэнергии не должно превышать ±3% оптимальной величины.

Установлено[1], что при повышении напряжения генератора выше оптимального на 10—12% срок службы аккумуляторных батарей и ламп сокращается в 2—2,5 раза. Поэтому очень важно правильно выбрать напряжение сети, оптимальное для данных условий. Слож-

[1] Н. М. Ильин, Электрооборудование автомобилей, изд-во «Транспорт», 1968, стр. 33.

ность заключается в необходимости учета противоречивых факторов, связанных с изменением условий эксплуатации.

Надежная работа автомобиля во многом зависит от хорошего состояния аккумуляторной батареи. Для того чтобы аккумуляторная батарея полностью выполняла свои функции, необходима правильная подзарядка ее в ходе эксплуатации.

Для 12-вольтового оборудования автомобилей оптимальные напряжения сети приведены в табл. 1. Проверка производилась при точности установки напряжения ±0,2 *в*. Для 6-вольтового оборудования оптимальное напряжение сети следует взять в 2 раза меньше, для 24-вольтового — в 2 раза больше. Чем точнее будет поддерживаться оптимальное напряжение при подзарядке аккумуляторной батареи, тем больше будет срок ее службы.

Таблица 1

Оптимальные напряжения сети для подзарядки 12-вольтовых аккумуляторных батарей

Место установки аккумуляторной батареи	Климатическая зона					
	Южная		Центральная		Северная	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
Под капотом . . .	13,3	13,5	13,7	14,2	13,8	14,6
Снаружи	13,5	14,2	14,0	14,5	14,0	15,0

При эксплуатации старых аккумуляторных батарей, имеющих повышенное внутреннее сопротивление из-за разрушения активного слоя пластин или их сульфатации, напряжение сети должно быть на 0,2—0,5 *в* больше указанного в табл. 1. При систематическом падении уровня электролита вследствие сильного кипения следует понизить напряжение сети на 0,2—0,3 *в*.

Электронные регуляторы напряжения обладают важным преимуществом: они позволяют очень просто изменять напряжение сети автомобиля с помощью переменного резистора. Некоторые автолюбители размещают этот резистор в кабине автомобиля, что позволяет менять режим заряда аккумуляторной батареи летом и зимой, при длительных и коротких поездках и в других случаях.

Если напряжение сети выбирается таким, чтобы обеспечить хорошие условия для подзарядки аккумуляторной батареи, то при работе генератора оно будет на 10—25% выше напряжения, на которое рассчитаны осветительные лампы, срок службы которых при увеличении напряжения может сократиться в 2—3 раза.

С увеличением напряжения сети увеличивается мощность искры в системе зажигания. Опасность может представлять пробой катушки зажигания, однако при увеличении напряжения до 30% этого, как правило, не происходит.

Радиоприемники, устанавливаемые на автомобилях, имеют стабилизаторы напряжения, поэтому колебания сети на их работе не сказываются.

Для увеличения срока службы ламп и особенно дефицитных ламп — фар целесообразно включить небольшое сопротивление в провод, идущий к лампе или фаре. Резистор изготовляют из толстой

высокоомной проволоки (например, из спирали электрической плитки) и подбирают такой величины, чтобы на нем падал излишек напряжения. Следует, однако, помнить, что при работе от аккумуляторной батареи лампы будут давать несколько меньший световой поток.

Регулятор напряжения

Автомобильные реле-регуляторы (рис. 1) содержат три основных элемента: регулятор напряжения, реле обратного тока и ограничитель максимального тока. Обычно все эти функции выполняют электромеханические реле.

Функцию поддержания постоянного напряжения при изменении скорости вращения якоря и изменении нагрузки (включение и выключение потребителей электроэнергии — аккумуляторной батареи, фар, радиоприемника и др.) выполняет регулятор напряжения. Кроме высокой точности поддержания постоянства напряжения генератора, к регулятору напряжения предъявляют обычно еще следующие требования: высокая надежность и большой срок службы, легкость регулирования напряжения, отсутствие высокочастотных помех.

Регулирование напряжения реле-регулятором происходит следующим путем (рис. 1). При напряжении генератора ниже заданного контакты *2* регулятора удерживаются пружиной *5* в замкнутом состоянии. При этом через замкнутые контакты в цепи обмотки возбуждения проходит ток. Путь тока возбуждения следующий: отрицательная щетка генератора, обмотка *8* возбуждения, зажим *Ш* ге-

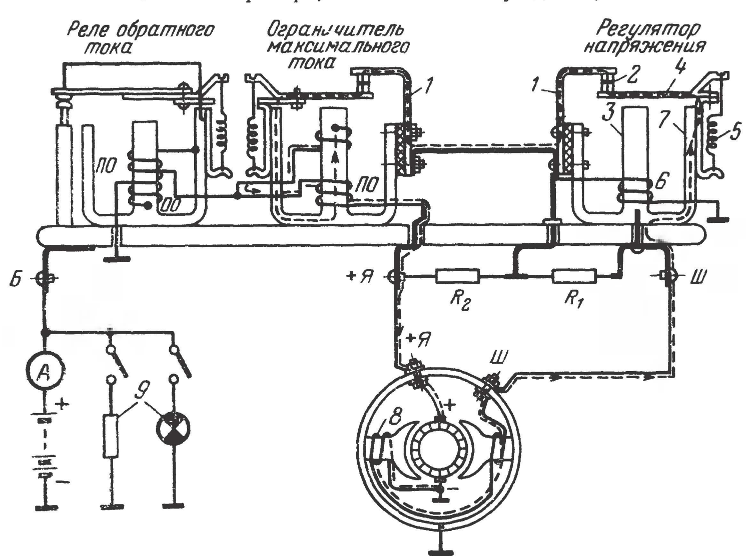


Рис. 1. Упрощенная схема реле-регулятора автомобиля.

1 — пластина неподвижного контакта; *2* — контакты реле; *3* — сердечник; *4* — якорек; *5* — пружина; *6* — обмотка реле; *7* — ярмо; *8* — обмотка возбуждения генератора; *9* — потребители тока; «*+Я*» и «*Ш*» — зажимы реле-регулятора и генератора; *ПО* — последовательная обмотка; *ОО* — параллельная (основная) обмотка.

нератора, зажим *Ш* регулятора, ярмо *7*, якорек *4*, контакты *2*, пластина *1* неподвижного контакта, такая же пластина ограничителя максимального тока, контакты, якорек, ярмо, обмотки, зажим *+Я*, положительная щетка генератора.

Одновременно ток поступает в обмотку *6* регулятора напряжения, в результате чего происходит некоторое намагничивание сердечника *3*. При увеличении напряжения генератора увеличивается ток в обмотке *6* регулятора напряжения, что увеличивает намагничивание сердечника, и в момент, когда сила магнитного притяжения якорька *4* к сердечнику *3* станет больше силы натяжения пружины *5*, произойдет размыкание контактов *2*. При разомкнутых контактах в цепь обмотки возбуждения генератора включится последовательно добавочный резистор R_1, что вызовет уменьшение тока в обмотке возбуждения генератора. Уменьшение тока возбуждения вызовет уменьшение магнитного потока возбуждения, что в свою очередь уменьшит индуцируемую э. д. с. в обмотке якоря, и напряжение генератора снизится. При снижении напряжения генератора уменьшится ток в обмотке регулятора напряжения, намагничивание сердечника также уменьшится и усилием пружины якорька контакты регулятора напряжения вновь замкнутся. Добавочный резистор R_1 при этом будет замкнут накоротко контактами, что вызовет увеличение тока в обмотке возбуждения генератора, а следовательно, напряжение генератора снова возрастет.

Таким образом, при работе регулятора напряжения его контакты периодически размыкаются и замыкаются, благодаря чему изменяется ток возбуждения в зависимости от скорости вращения якоря генератора и поддерживается постоянство напряжения генератора в заданных пределах.

В момент размыкания контактов регулятора из-за уменьшения тока возбуждения уменьшается магнитный поток возбуждения, который, пересекая витки катушек обмотки возбуждения, индуцирует в них э. д. с. самоиндукции, совпадающую с направлением убывающего тока. При этом э. д. с. самоиндукции препятствует резкому уменьшению тока в цепи возбуждения, а следовательно, убывание магнитного потока, а вместе с ним убывание напряжения генератора замедляется. Поэтому, несмотря на скачкообразное изменение напряжения возбуждения, напряжение генератора меняется плавно.

С увеличением скорости вращения якоря в период размыкания контактов регулятора напряжения не произойдет быстрого уменьшения тока в обмотке реле и его сердечник будет размагничиваться медленно, что на большее время удержит контакты в разомкнутом состоянии. Следовательно, с увеличением скорости вращения якоря добавочное сопротивление будет включаться в цепь обмотки возбуждения генератора на большее время, что и будет основной причиной уменьшения среднего значения тока возбуждения при увеличении скорости вращения якоря. Уменьшение среднего значения тока возбуждения сопровождается уменьшением магнитного потока возбуждения, поэтому напряжение генератора остается практически постоянным.

Такой метод регулирования называется импульсным; он находит широкое применение и в электронных регуляторах напряжения.

Заметим, что добавочное сопротивление не является обязательным, можно вообще разрывать цепь обмотки возбуждения. Однако в этом случае будет наблюдаться сильное искрение контактов регулятора напряжения, они будут быстро обгорать и выходить из

строя. Добавочное сопротивление подбирают из расчета поддержания регулятором заданного напряжения при максимальной скорости вращения якоря генератора и минимальной нагрузке. При установке добавочного сопротивления меньше расчетной величины ток в цепи возбуждения при разомкнутых контактах регулятора будет больше, что будет сопровождаться более высоким напряжением генератора, а следовательно, и бо́льшим током в обмотке регулятора напряжения. В результате при большой скорости вращения якоря контакты регулятора будут все время разомкнуты, а при дальнейшем увеличении скорости вращения якоря напряжение генератора будет возрастать, т. е. регулятор не будет выполнять своего назначения.

В связи с импульсным характером изменения напряжения возбуждения пульсирующим будет и напряжение на якоре генератора и в сети автомобиля. Это может привести к миганию ламп, увеличению фона в радиоприемнике автомобиля. Проблема решается обычно повышением частоты срабатывания регулятора напряжения. При частоте пульсаций более 25 *гц* они становятся незаметными на глаз. Повышение частоты облегчает и борьбу с фоном в радиоприемнике: чем выше частота пульсаций, тем легче их отфильтровать.

В реле-регуляторе для повышения частоты вибрации контактов применяют специальные схемы, ускоряющие срабатывание реле. Кроме того, электромеханический регулятор напряжения содержит дополнительные элементы для температурной компенсации регулятора, специальные обмотки для выравнивания напряжения в диапазоне изменений числа оборотов якоря генератора и другие элементы

Несмотря на сложность, электромеханические регуляторы напряжения не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Точность поддержания напряжения при изменениях температуры, нагрузки и числа оборотов составляет 10—15%. Настройка регулятора напряжения сложна и плохо сохраняется во времени, так как пружина, определяющая момент срабатывания якоря реле-регулятора и частоту его вибраций, меняет свои параметры в результате старения, воздействия тряски и изменения окружающей температуры. Контакты регулятора вследствие постоянного искрения быстро обгорают, что приводит к изменению сопротивления между контактами и зазора между ними, а в результате — к изменению напряжения генератора.

Поэтому реле-регуляторы вибрационного типа в большинстве случаев требуют дополнительной регулировки и чистки контактов после пробега 10—15 тыс. *км*. Реле-регуляторы подобного типа являются источниками высокочастотных помех, ухудшающих качество приема радио- и телевизионных передач.

Электронные регуляторы напряжения позволяют устранить указанные недостатки, повысить надежность работы электрооборудования автомобиля или мотоцикла, упростить обслуживание Отсюда становится понятным то внимание, которое уделяется ведущими автомобильными фирмами СССР, США, Франции и ФРГ электронным системам зажигания и электронным регуляторам напряжения и тока.

Реле обратного тока

Реле обратного тока (рис. 1) служит для автоматического замыкания электрической цепи между генератором и аккумуляторной батареей, когда напряжение генератора больше напряжения бата-

реи, и для размыкания цепи, когда напряжение генератора становится меньше напряжения батареи Реле обратного тока предупреждает разряд аккумуляторной батареи и перегрев генератора вследствие этого разряда.

При неработающем генераторе, а также когда напряжение работающего генератора меньше 11,8—13,0 *в* (для 12-вольтового электрооборудования), контакты реле удерживаются в разомкнутом состоянии усилием пружины якорька.

При работе генератора по параллельной обмотке реле от генератора течет ток и она все время намагничивает сердечник. Путь тока в цепи параллельной обмотки· отрицательная щетка генератора, масса, параллельная обмотка *ОО*, сердечник, ярмо, последовательная обмотка *ПО*, последовательная обмотка ограничителя максимального тока, зажим *+Я* реле-регулятора, зажим *+Я* генератора, положительная щетка генератора.

По мере увеличения напряжения генератора увеличивается ток в параллельной обмотке реле и намагничивание сердечника усиливается. Намагничиванию сердечника способствует и последовательная обмотка, так как ее магнитный поток действует в одну сторону с магнитным потоком параллельной обмотки. При достаточной величине напряжения генератора магнитная сила притяжения сердечника преодолевает упругую силу пружины, притягивает якорек к сердечнику и контакты реле замыкаются. Аккумулятор и другие потребители тока подключаются к генератору.

После замыкания контактов по последовательной обмотке будет проходить весь ток, отдаваемый генератором. При этом магнитный поток последовательной обмотки еще больше усиливает намагничивание сердечника, что обеспечивает более плотное замыкание контактов реле обратного тока.

Путь зарядного тока: отрицательная щетка генератора, масса, аккумуляторная батарея, амперметр, зажим *Б* реле-регулятора, контакты, ярмо, последовательная обмотка, последовательная обмотка ограничителя максимального тока, зажим *+Я* реле-регулятора, зажим *+Я* генератора, положительная щетка генератора.

Если напряжение генератора станет меньше э. д. с. батареи, из аккумуляторной батареи в генератор и параллельную обмотку реле начнет поступать разрядный ток величиной 0,5—6 *а*. Этот ток будет проходить через последовательную обмотку реле в обратном направлении, а ток в параллельной обмотке реле будет проходить в ту же сторону, что и ток, поступающий в эту обмотку от генератора. Все другие потребители электроэнергии также питаются от аккумуляторной батареи.

Так как направление обратного тока в последовательной обмотке реле будет противоположным направлению тока в параллельной обмотке, то магнитный поток сердечника уменьшится и контакты реле под действием пружины разомкнутся. Разряд аккумуляторной батареи через генератор прекратится.

Реле обратного тока будет находиться в разомкнутом состоянии до тех пор, пока вследствие повышения числа оборотов якоря напряжение генератора не превысит напряжения срабатывания реле обратного тока.

К сожалению, кроме общих недостатков, присущих всем электромеханическим реле и перечисленных выше, реле обратного тока неполностью удовлетворяют и своему прямому назначению. Выше было показано, что замыкание контактов реле определяется напря-

жением генератора и силой натяжения пружины самого реле. Натяжение пружины устанавливают таким, чтобы реле срабатывало в пределах 11,8—13 *в*. Но установленное напряжение срабатывания не учитывает текущего состояния аккумуляторной батареи, в зависимости от которого напряжение на батарее даже в течение нескольких минут может изменяться на 2—4 *в*. Это наблюдается, например, при работе стартера и последующей интенсивной подзарядке.

Если реле обратного тока отрегулировано на напряжение срабатывания 12 *в*, а фактическое напряжение аккумуляторной батареи 11 *в*, то потребуется дополнительное время и увеличение числа оборотов, чтобы напряжение генератора стало больше 12 *в*, реле сработало и батарея начала заряжаться. Через некоторое время напряжение батареи достигнет 12,5—13,5 *в* и при каждом случае, когда напряжение генератора будет меньше этих значений, аккумуляторная батарея будет разряжаться. Более того, для размыкания реле требуется, чтобы по нему проходил ток до 6 *а*. Следовательно, при этом только это реле потребляет до 30% мощности генератора легкового автомобиля. Поскольку такие переходные режимы наблюдаются довольно часто, особенно при движении по городу, не приходится удивляться небольшому сроку службы аккумуляторных батарей.

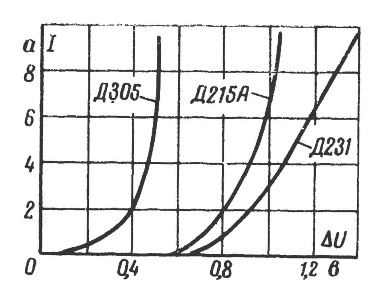


Рис. 2. Зависимость падения напряжения на диоде от тока, проходящего через диод.

Между тем в настоящее время имеются почти идеальные реле обратного тока — мощные полупроводниковые диоды. Подсоединив один вывод диода к незаземленному полюсу якоря генератора, а второй — к аккумуляторной батарее, мы получаем реле обратного тока, учитывающее состояние аккумуляторной батареи и напряжение генератора в данный момент. Аккумуляторная батарея ни при каких условиях не может разряжаться через генератор. Заряжаться же она начнет сразу, как только напряжение на якоре генератора станет больше напряжения аккумуляторной батареи на определенную величину. Эта величина равна падению напряжения на диоде и зависит от типа диода и тока, проходящего через него (рис. 2). При номинальном токе 10 *а* падение напряжения на германиевом диоде составляет 0,5 *в*, на кремниевом диоде — примерно 1,2 *в*. Для сравнения укажем, что падение напряжения на обмотках и контактах электромеханических реле обратного тока и реле-ограничителя максимального тока, соединенных последовательно, составляет 1,5—2,0 *в*. При загрязнении, обгорании и окислении контактов падение напряжения на них может быть больше.

В качестве реле обратного тока могут быть использованы диоды, имеющие допустимый выпрямленный ток не менее максимального тока генератора. Допускается параллельное соединение нескольких диодов. Основные параметры диодов, наиболее пригодных для применения в качестве реле обратного тока, приведены в табл. 2.

При параллельном соединении двух или более диодов их следует брать из одной партии, а еще лучше подобрать по падению напряжения при максимальном токе. Падения напряжения на диодах

Таблица 2

Основные параметры диодов, пригодных в качестве реле обратного тока

Наименование диода	Допустимый ток, *а*	Максимальное обратное напряжение*, *в*	Среднее значение падения напряжения, *в*	Максимальная рабочая температура, °С
Д214	10	100	1,25	75
Д214А	10	100	1,0	75
Д215	10	200	1,25	75
Д215А	10	200	1,0	75
Д231	10	300	1,0	75
Д231А	10	300	1,0	130
Д232	10	400	1,0	75
Д232А	10	400	1,0	130
Д233	10	500	1,0	75
Д242	10	100	1,25	75
Д242А	10	100	1,0	130
Д243	10	200	1,25	75
Д243А	10	200	1,0	130
Д245	10	300	1,25	75
Д245А	10	300	1,0	130
Д246	10	400	1,25	75
Д246А	10	400	1,0	130
Д247	10	500	1,25	75
Д305	10	50	0,35	25

* При обратном токе не более 3 *ма*.

не должны отличаться более чем на 0,05 *в*, иначе через диод, имеющий меньшее падение напряжения, будет идти больший ток и диод будет перегреваться.

Для реле обратного тока предпочтительнее кремниевые диоды, так как они допускают нагрев до 130° С, а падение напряжения на них удается использовать для работы схемы ограничителя максимального тока.

Все диоды имеют незначительные габариты и вес; срок службы их не менее 5 000 *ч*. Диоды, применяемые в качестве реле обратного тока, должны иметь теплоотвод с эквивалентной площадью 100—150 *см*², так как при максимальном токе нагрузки 20 *а* на двух диодах будет рассеиваться мощность около 25 *вт*. Это единственные элементы в импульсном электронном регуляторе напряжения, которые выделяют заметное количество тепла.

При повышении температуры до 70° С падение напряжения уменьшается на 0,1 *в*, а при нагреве до 120° С (для кремниевых диодов) падение напряжения уменьшается на 0,2 *в*.

Это позволяет выполнить дополнительную стабилизацию напряжения сети автомобиля при изменении нагрузки. Дело в том, что с увеличением тока через диоды падение напряжения на них тоже увеличивается. Но чем больше ток, тем больше нагрев диодов и падение напряжения на них уменьшается. Напряжение на нагрузке остается примерно постоянным.

Ограничитель максимального тока

Для предупреждения перегрева и последующего разрушения изоляции обмотки якоря и обмотки возбуждения генератора необходимо ограничивать максимальный ток, отдаваемый генератором. Перегрузка генератора может возникнуть при заряде сильно разряженной аккумуляторной батареи, включении большого количества потребителей электроэнергии, коротком замыкании в электропроводке автомобиля.

Ограничитель максимального тока представляет собой электромеханическое реле, подобное реле регулятора напряжения. По последовательной обмотке ограничителя максимального тока проходит весь ток, отдаваемый генератором. Если этот ток меньше допустимого (18—20 *а* для легковых автомобилей), то контакты реле удерживаются в замкнутом состоянии усилием пружины. При этом ток возбуждения проходит через контакты ограничителя. Если же ток, отдаваемый генератором, достигнет максимально допустимого значения, то намагничивание сердечника увеличится и якорек, притягиваясь к сердечнику, вызовет размыкание контактов. При этом в цепь обмотки возбуждения включится резистор R_2, что вызовет уменьшение тока в цепи обмотки возбуждения генератора и, следовательно, понижение его напряжения. Это ограничит ток, проходящий через нагрузку и генератор. Если же ток уменьшится, то уменьшится и намагничивание сердечника реле и под действием пружины его контакты снова замкнутся. После этого ток возбуждения увеличится, напряжение генератора повысится, а вместе с этим снова увеличится ток в обмотках ограничителя максимального тока, опять произойдет размыкание контактов и т. д.

Таким образом, максимальный ток не будет превышать допустимого. Такое реле предохраняет генератор от перегрузки во всех случаях, кроме короткого замыкания. Так как при размыкании реле ток в обмотке возбуждения не прекращается, а контакты регулятора напряжения замкнуты, то при повышении числа оборотов якоря генератора и коротком замыкании в цепи нагрузки ток генератора может превысить допустимое значение. Хотя такие случаи редки, целесообразно устранить и эту возможность выхода из строя генератора.

Ограничение максимального тока путем применения электронных средств также позволяет избежать основных недостатков, присущих электромеханическим устройствам, а повысить надежность регулятора.

Работа электронного ограничителя максимального тока рассмотрена в гл. 3.

Глава вторая

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Измерительные элементы

Любой регулятор напряжения совместно с генератором представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования. Как правило, такие регуляторы основаны на компенсационном принципе регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного номинала.

Регулятор напряжения состоит из измерительного и управляющего элементов. Нагрузкой управляющего (регулирующего) элемента служит обмотка возбуждения генератора. Напряжение с якоря генератора подается на измерительный элемент, чем обеспечивается обратная связь в системе регулирования. Блок-схема системы автоматического регулирования напряжения генератора приведена на рис. 3.

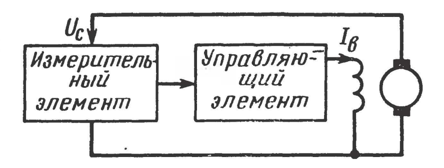


Рис. 3. Блок-схема системы автоматического регулирования напряжения генератора.

Измерительный элемент предназначен для получения сигнала рассогласования. В нем происходит сравнение регулируемого напряжения с заданной величиной стабилизированного напряжения. Сигнал рассогласования от измерительного элемента воздействует на управляющий элемент, а через него на объект регулирования — генератор. От стабильности характеристик измерительного элемента и его чувствительности зависит в основном точность регулирования напряжения регулятором.

В качестве измерительного элемента может быть предложен ряд устройств. Простейший и наиболее распространенный в настоящее время измерительный элемент — электромеханическое реле. Его применяли во всех выпускавшихся до сих пор реле-регуляторах. Простота достигается совмещением в одном устройстве измерительного и управляющего элементов. Работа такого реле была рассмотрена в гл. 1.

При работе реле-регулятора напряжения его якорь непрерывно вибрирует, а э. д. с., индуцируемая в обмотке якоря, колеблется около некоторого среднего значения $E_{ном}$.

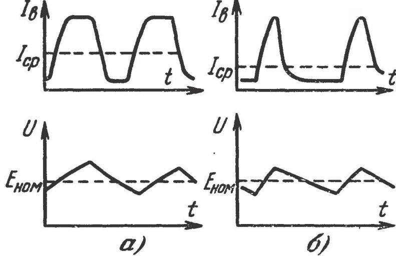


Рис. 4. Форма тока в обмотке возбуждения и напряжения на якоре генератора.

а — малые обороты; *б* — большие обороты.

Изменения тока в обмотке возбуждения и напряжения на якоре генератора при работе реле-регулятора показаны на рис. 4. Из рисунка видно, что изменение напряжения на якоре генератора происходит медленнее, чем изменение тока возбуждения. Это явление связано с инерционностью магнитного потока генератора и позволяет использовать импульсный режим регулирования напряжения генератора.

Изменение тока возбуждения, необходимое для поддержания постоянного напряжения на якоре генератора, достигается путем изменения соотношения времен замкнутого и разомкнутого состояний контактов реле-регулятора. При увеличении числа оборотов якоря генератора при постоянной нагрузке ток возбуждения следует уменьшать. Это обеспечивается тем, что по мере увеличения

числа оборотов якоря генератора длительность замкнутого состояния контактов уменьшается (рис. 4,*б*), вследствие чего среднее значение тока возбуждения снижается.

Диапазон регулирования[1] такого регулятора определяется величинами сопротивлений обмотки возбуждения и добавочного резистора. Максимальный ток возбуждения будет наблюдаться при замкнутых контактах, минимальный — при полностью включенном добавочном резисторе.

Следует помнить, что значительно увеличивать сопротивление добавочного резистора для увеличения пределов регулирования

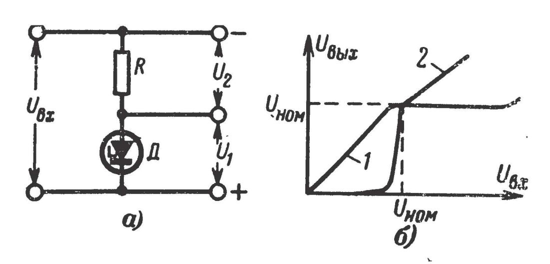


Рис. 5. Измерительный элемент для транзисторов *n-p-n* типа.

а — схема; *б* — зависимости $U_{вых}$ от $U_{вх}$ по отношению к плюсу (*1*) и минусу (*2*).

нельзя, так как в этом случае при размыкании контактов будут наблюдаться большие перепады тока и напряжения. Это приведет к образованию искрения, обгоранию контактов и нарушению регулировки реле. Для увеличения диапазона регулирования разделяют функции измерительного элемента и регулятора. Так, в реле-регуляторе РР-362 механическое реле выполняет функцию только измерительного элемента, а ток возбуждения регулируется транзистором. В результате этого увеличился в несколько раз срок службы реле-регулятора, уменьшилось искрение. Увеличился диапазон регулирования. Так, если для реле-регулятора Р-24Г2 он равен 12, то для регулятора РР-362 — примерно 15. Практически это означает, что в последнем случае лучше используются все потенциальные возможности регулятора для поддержания постоянного напряжения на якоре генератора.

К сожалению, реле как измерительному элементу присущи и другие недостатки: сложность регулировки номинального напряжения, малая чувствительность, большая температурная зависимость, чувствительность к тряске и вибрациям, сравнительно малый срок службы. Поэтому дальнейшее совершенствование регуляторов напряжения должно идти по пути замены механических реле в измерительном элементе бесконтактными электронными схемами. Рас-

[1] Диапазон регулирования регулятора напряжения есть отношение максимального и минимального токов, протекающих через регулятор. Токи определяются при номинальном напряжении и постоянном сопротивлении обмотки возбуждения генератора.

смотрим некоторые из них. Наиболее простые бесконтактные измерительные схемы (рис. 5,*а* и 6,*а*) строят на стабилитронах.

Стабилитрон, называемый часто опорным диодом, представляет собой специальный тип кремниевого диода. Замечательное свойство стабилитрона заключается в том, что при определенном обратном напряжении (напряжении пробоя) происходит резкое увеличение тока без изменения величины напряжения. В этой области напряжение на стабилитроне почти не изменяется при изменении тока в большом диапазоне. С этим эталонным напряжением, называемым напряжением стабилизации, и сравнивается регули-

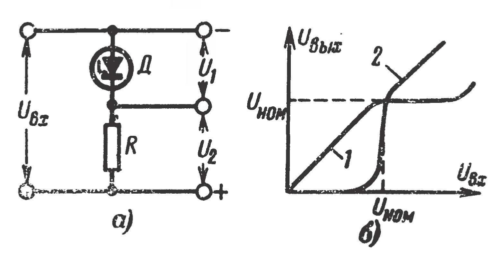


Рис. 6. Измерительный элемент для транзисторов *p-n-p* типа.

а — схема; *б* — зависимости $U_{вых}$ от $U_{вх}$ по отношению к минусу (*1*) и плюсу (*2*).

руемое напряжение в измерительных элементах регуляторов напряжения.

Схема на рис. 5,*а* состоит из последовательно соединенных стабилитрона *Д* и резистора *R*. Зависимости напряжения на элементах этой схемы от входного напряжения показаны на рис. 5,*б*. По достижении входным напряжением некоторого значения $U_{ном}$, зависящего от величины напряжения стабилизации $U_{ст}$ стабилитрона и сопротивления резистора *R*, происходит пробой стабилитрона, после чего напряжение на нем U_1 остается постоянным. Напряжение U_2 на резисторе *R* продолжает увеличиваться. Очевидно, что напряжение на резисторе *R* пригодно для управления транзисторами типа *n-p-n*, общей для которых является минусовая шина источника питания. Такие транзисторы будут отпираться в момент достижения входным напряжением значения $U_{ном}$.

На рис. 6,*а* приведен другой вариант измерительного элемента. Из его выходных характеристик (рис. 6,*б*) видно, что он может быть использован для управления транзисторами типа *p-n-p*, имеющими в качестве общего провода плюсовую шину источника питания. Данная схема позволяет отпереть транзистр типа *p-n-p* при $U_{вх} \geqslant U_{ном}$.

Рассмотрим, какие возможности предоставляют стабилитроны по регулируемому напряжению и току. Данные основных параметров кремниевых стабилитронов, выпускаемых в настоящее время, приведены в табл. 3. Сопротивление *R* следует выбирать так, чтобы при минимальном напряжении $U_{ном}$ генератора ток через стабилитрон был не менее 0,1 $I_{ст.макс}$. По току стабилитрон должен быть выбран таким образом, чтобы максимально допустимый ток стабилизации $I_{ст.макс}$ был в 2—3 раза больше тока базы транзистора, который отпирается стабилитроном.

Таблица 3

Основные параметры кремниевых стабилитронов

Наименование стабилитрона	Напряжение стабилизации, *в*	Максимальный ток, *ма*	Наименование стабилитрона	Напряжение стабилизации, *в*	Максимальный ток, *ма*
2С133А	3,35±0,35	81	Д816В	33±3,3	150
2С139А	3,9±0,4	70	Д816Г	39±3,9	130
2С147	4,65±0,55	65	Д816Д	47±4,7	110
2С156А	5,6±0,56	55	Д817А	56±5,6	90
2С168А	6,8±0,68	45	Д817Б	68±6,8	75
Д814А (Д808)	7,75±0,75	40	Д817В	82±8,2	60
Д814Б (Д809)	8,75±0,75	36	Д817Г	100±10	50
Д814В (Д810)	9,75±0,75	32	Д818А	9±1,35	33
Д814Г (Д811)	11±1,0	29	Д818Б	9±1,35	33
Д814Д (Д813)	12,5±1,5	24	Д818В	9±0,9	33
Д815А	5,6±0,56	1 400	Д818Г	9±0,45	33
Д815Б	6,8±0,68	1 150	Д818Д	9±0,45	33
Д815В	8,2±0,82	950	Д818Е	9±0,45	33
Д815Г	10±1,0	800	2С920-А	120±12	42
Д815Д	12±1,2	650	2С930-А	130±13	38
Д815Е	15±1,5	550	2С950-А	150±15	33
Д815Ж	18±1,8	450	2С980-А	180±18	28
Д816А	22±2,2	230			
Д816Б	27±2,7	180			

Из таблицы видно, что стабилитроны выпускаются на напряжения стабилизации от 3 до 180 *в*. Изменением сопротивления резистора R можно увеличить напряжение на стабилитроне до величины примерно 1,5 $U_{ст}$ (где $U_{ст}$ — паспортное значение напряжения стабилизации). Если учесть, что стабилитрон может быть использован для стабилизации напряжения при прямом включении (когда $U_{ст}=0{,}7\div1$ *в*), а также допускается последовательное включение нескольких стабилитронов, при котором напряжение $U_{ном}$ увеличивается в 2 и более раз, то можно сделать вывод, что входное напряжение для указанных выше измерительных схем может лежать в пределах от 1 до 500 *в*.

Выбор стабилитронов по максимальному току ограничен больше. Наибольшее распространение получили стабилитроны Д814. Но они могут обеспечить надежное отпирание только маломощных транзисторов. В последнее время промышленность начала выпускать стабилитроны Д815, Д816, которые могут работать с транзисторами большой мощности.

Все рекомендуемые стабилитроны — кремниевые и имеют интервал рабочих температур не менее $-60\div+120°$ С. Температурный коэффициент напряжения стабилизации стабилитронов достаточно мал. Так, для стабилитронов Д814 он менее 0,1%/*град*. Это означает, что при изменении температуры на ±20° С напряжение стабилизации изменится на ±2%, если даже не принимать специальных мер.

При использовании в качестве реле обратного тока кремниевых диодов целесообразно иметь положительный температурный коэффициент изменения напряжения стабилизации стабилитронов. В этом случае влияние изменений температуры будет уменьшено.

Для компенсации температурной нестабильности напряжения стабилизации может быть применено последовательное соединение стабилитронов в прямом и обратном включениях. Это свойство основано на том, что температурный коэффициент зависит от напряжения стабилизации. При напряжении выше 5 *в* он положителен, менее 5 *в* — отрицателен. Таким образом, стабилитрон и вообще все полупроводниковые диоды, включенные в прямом направлении, имеют отрицательный температурный коэффициент, что и используется для термокомпенсации.

Другим способом температурной компенсации может быть включение в схему измерительного элемента термосопротивлений.

Схемы измерительного элемента на стабилитроне (см. рис. 5,*а* и 6,*а*) не могут быть использованы одновременно в качестве управляющего элемента, так как стабилитроны по достижении входного напряжения $U_{ном}$ отпираются и начинают проводить ток, в то время как для регулирования напряжения генератора нужно иметь максимальный ток в обмотке возбуждения при напряжении генератора ниже номинального и уменьшать ток по достижении номинального напряжения. Поэтому управляющим элементом в электронных регуляторах обычно служит транзистор.

На рис. 7 приведены измерительный элемент на транзисторе типа *n-p-n* с нагрузкой в цепи коллектора и его выходные характе-

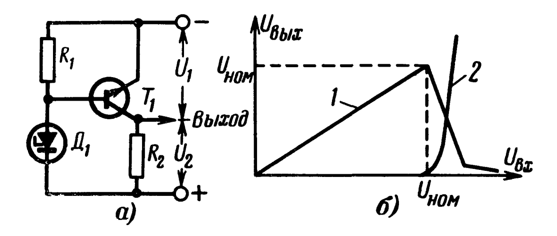


Рис. 7. Измерительный элемент с транзистором *n-p-n* типа и нагрузкой в цепи коллектора.

а — схема; *б* — зависимости $U_{вых}$ от $U_{вх}$ по отношению к минусу (*1*) и плюсу (*2*).

ристики. Схема достаточно чувствительна, имеет большую крутизну на рабочем участке (около $U_{вх}=U_{ном}$) и малое остаточное напряжение между коллектором и эмиттером $U_{к.э}$ в отпертом состоянии транзистора. Ток в нагрузке R_2 изменяется соответственно кривой *2*. При использовании транзистора *p-n-p* типа в этой схеме следует изменить на противоположную полярность питающего напряжения (рис. 8).

Применение в измерительном элементе транзистора с нагрузкой в цепи эмиттера нецелесообразно.

Таким образом, схемы, приведенные на рис. 7 и 8, обеспечивают высокую чувствительность измерительного элемента к изменению напряжения на генераторе и малое остаточное напряжение $U_{к.э}$ в отпертом состоянии транзистора. Это обеспечивает надежное запи-

рание и отпирание транзистора управляющего элемента, что предопределяет большой диапазон регулирования по току всего регулятора напряжения.

Представляет значительный интерес возможность совмещения измерительного и управляющего элементов. Энергетические характеристики современных стабилитронов и транзисторов допускают такое совмещение, однако обеспечить необходимое фазирование трудно.

В случае использования измерительного элемента для управления генератором обмотка возбуждения должна быть подключена вместо резистора R_2. Но, как видно из характеристик измерительных элементов, напряжение на нагрузке (а следовательно, и ток

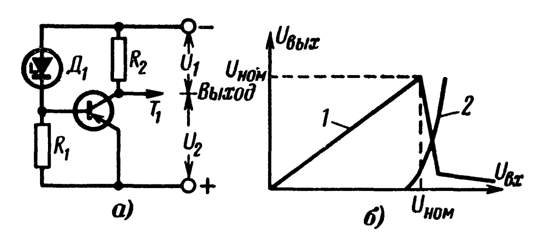


Рис. 8. Измерительный элемент с транзистором *p-n-p* типа и нагрузкой в цепи коллектора.
а — схема; *б* — зависимости $U_{вых}$ от $U_{вх}$ по отношению к плюсу (*1*) и минусу (*2*).

возбуждения) появляется и растет только при $U_{вх} \geqslant U_{ном}$, в то время как для регулирования напряжения генератора необходимо прекращение или уменьшение тока в этот момент.

Конечно, различными усложнениями можно создать совмещенные схемы измерительного и управляющего элементов, но, как будет показано ниже, такие схемы имеют значительные недостатки.

В общем же случае требуется еще один каскад для переворачивания фазы. Поэтому регулятор напряжения обычно имеет по крайней мере два каскада. Первый каскад — измерительный — выполняет задачу выделения сигнала ошибки напряжения генератора. Второй каскад — управляющий — регулирует ток возбуждения генератора.

Общие требования к управляющему элементу

Для того чтобы обоснованно предъявить требования к управляющему элементу и правильно выбрать транзистор, необходимо знать параметры генератора (табл. 4), для которого проектируется регулятор.

При разработке электронных реле-регуляторов или выборе их схемы должны быть приняты во внимание следующие параметры генератора: номинальное напряжение, ток нагрузки, максимальный ток возбуждения. По напряжению генератора определяется максимальное напряжение между эмиттером и коллектором транзисторов. Обычно с учетом некоторого повышения напряжения при работе генератора допустимое напряжение между коллектором и эмит-

Таблица 4

Основные параметры автомобильных генераторов

Марка генератора	Установлен на автомобилях	Мощность, *вт*	Номинальное напряжение, *в*	Номинальный ток, *а*	Скорость вращения якоря при номинальном напряжении, *об/мин*	Сопротивление обмотки возбуждения, *ом*	Максимальный ток возбуждения, *а*	Марка реле-регулятора, с которым работает генератор
Г2Б, П	ЗИЛ-155, 158, ЛАЗ-695, 697	750	12,5	60	1700	6,5×2	1,8×2	РР-5
Г3М	ЗИЛ-127	2000	12,5	160	2200	3,2	4,0	РР-3, РР-103
Г8	„Урал-375", КРАЗ-214, 221	500	12,5	37	1800	7×2	1,7×2	РР-8, РРК-ГТ500
Г8В, Г	ЗИЛ-111, „Урал-375"	450	12,5	35	1600	7×2	1,7×2	РР-24, РР-27
Г12Б, В, Г, К, Ж	М-21 („Волга"), ГАЗ-51, 56, 63, ЗИЛ-157, 164, 585	225—250	12,5	18—20	1600	7	1,7	РР-24, РР-24Г
Г15Б	ЗИЛ-150, 151, 156, 164, 585	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР-12А, РР-20, РР-24Г
Г16	ЗИЛ-110	230	6	35	1800	4,0	2,0	РР-11
Г20А	М-20 („Победа"), ГАЗ-20,69	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР-12Д, РР-20Б, РР-24А, РР-24Г
Г21Б	ГАЗ-51, 62,63, ЗИЛ-157, ПАЗ-651, 653	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР-12А, РР-12Б, РР-20Д, РР-24Г2
Г22	„Москвич-402", 403, 407, 410, 423	200	12,5	16	2400	7,28	1,6	РР-24Б, РР-102
Г22Б	„Москвич-401"	130	6	20	2400	3,5	1,9	РР-29А
Г25Б, В	МАЗ-200, 205, 500, 501, 502	250	12,5	20	1600	7,0	1,7	РР-20В, РР-24Г2
Г29	„Москвич-401"	130	6	20	2400	3,52	1,9	РР-29А

Продолжение табл. 4

Марка генератора	Установлен на автомобилях	Мощность, *вт*	Номинальное напряжение, *в*	Номинальный ток, *а*	Скорость вращения якоря при номинальном напряжении, *об/мин*	Сопротивление обмотки возбуждения, *ом*	Максимальный ток возбуждения, *а*	Марка реле-регулятора, с которым работает генератор
Г42	„Урал-352“, 355	225	12,5	18	1800	—	—	РР-12, РР-24Г1
Г51	ЗИЛ-131	440	12,5	35	—	—	—	РР-51
Г52	ЗИЛ-155	1000	12,5	80	850	—	—	РР-52
Г56	КрАЗ-219, 222	350	12,5	28	1450	—	—	РР-23Б
Г73	ГАЗ-13 („Чайка“)	450	12,5	32	2350	—	—	РР-101
Г105Б	МАЗ-500, 503, 504	400	25	16	2000	18,4	1,4	РР-105
Г106	МАЗ-200, 205, 501, 502	250	25	10	1650	9,2	2,8	РР-106
Г107	МАЗ-500, 502, 504	400	25	16	2000	18,4	1,4	РР-107
Г108Б, В, Г, У, К	ГАЗ-51, 52, 53Ф, 63, 69, ЗИЛ-157, 164, ГАЗ-21 („Волга“)	250	12,5	20	1800	7,0	1,7	РР-12В, РР-20, РР-24Г
Г108М	„Москвич-408“	250	12,5	20	2000	3,5	3,0	РР-24Г
Г112В, Г	ГАЗ-62, 69Э	225	12,5	18	1600	7,0	1,7	РР-12, РР-24-Э
Г114	ГАЗ-695 („Запорожец“)	160	12,5	13	3000	10	1,25	РР-109
Г130В, Г	ГАЗ-53, 66, ЗИЛ-130, „Урал-377“	350	12,5	28	2250	8,0	1,5	РР-130, РР-122
Г250*	„Москвич-412“, РАЗ-53А, ЗИЛ-130	350	12,5	28	2000	3,7	3,0	РР-362
Г253*	ЛАЗ-694, КАвЗ-987	475	12,5	38	2300	7,0	1,7	РР-115
Г256*	ЛАЗ-699А	1250	12,5	100	1500	—	—	РР-122
Г265*	ПАЗ-672	500	12,5	42	2300	—	—	
Г270*	КрАЗ, МАЗ	500	25,0	20	1800	—	—	РР-137
Г501*	ЗАЗ-966В („Запорожец“)	250	12,5	20	2500	12,0	1,1	РР-310А
Г731*	БелАЗ-540	1200	25,0	40	—	17×2	1,5×2	РРТ-24Д, РРТ-32

* Генераторы переменного тока.

тером любого транзистора должно быть не менее 15 *в* для 12-вольтового электрооборудования.

По току нагрузки выбирают силовые диоды для реле обратного тока. По максимальному току возбуждения выбирают мощные транзисторы, работающие в управляющем элементе. Так, транзистор для регулятора напряжения генератора Г12 должен иметь максимально допустимый ток коллектора не менее 1,7 *а* и допустимое напряжение пробоя между коллектором и эмиттером не менее 15 *в*. Для регулятора напряжения генератора Г108М допустимый ток коллектора должен быть не менее 3 *а*, а напряжение не менее 15 *в*.

Для повышения диапазона регулирования напряжения очень важен еще один параметр транзисторов — остаточное напряжение между коллектором и эмиттером в отпертом состоянии. Чем меньше остаточное напряжение, тем в большей степени используется регулировочная характеристика генератора, тем меньше греется транзистор и тем выше к. п. д. регулятора напряжения.

Транзисторы схем управления

Рассмотрим основные параметры транзисторов, которые могут быть использованы в качестве управляющих элементов (табл. 5).

Лучшими транзисторами для элементов регулирования будут транзисторы, допускающие большой ток и высокую температуру нагрева, имеющие больший коэффициент усиления и меньшее остаточное напряжение в отпертом состоянии. Однако эти требования противоречивы.

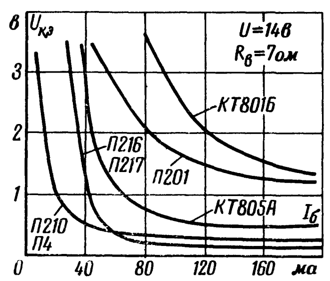


Рис. 9. Зависимости $U_{к.э}$ от тока базы.

Кремниевые транзисторы КТ802, КТ803, КТ805 допускают ток 5—10 *а*, устойчиво работают при высоких температурах, но имеют большее остаточное напряжение в отпертом состоянии и меньший коэффициент усиления, чем германиевые транзисторы П4, П216, П217, П210. Кроме того, последние более доступны и дешевле.

Транзисторы П201—П203, П213—П215 в оконечных каскадах управляющих элементов применять не следует, так как они, как правило, имеют большое остаточное напряжение в отпертом состоянии.

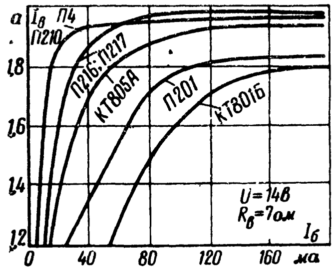


Рис. 10. Зависимости тока возбуждения от тока базы.

Остаточное напряжение $U_{кэ}$, а следовательно, и ток через обмотку возбуждения генератора $I_в$ в значительной степени определяется током базы $I_б$ управляющего транзистора Зависимость $U_{кэ}$ от $I_б$ для различных транзисторов приведена на рис. 9, а зависимость $I_в$ от $I_б$ — на рис. 10. Из графиков видно, что лучшие с точки зрения минимального остаточного напряжения — германиевые

Таблица 5

Основные параметры транзисторов, пригодных для управляющих элементов

Наименование транзистора	Тип проводимости	Максимально допустимый ток коллектора, *а*	Максимально допустимый ток базы, *а*	Допустимое напряжение коллектор—эмиттер, *в*	Остаточное напряжение в отпертом состоянии, *в*	Коэффициент усиления	Допустимая мощность, *вт*	Максимальная температура, °С
П201	*p-n-p*	1,5 (2)*	0,3	—30	2,5	20	1 (10)**	70
П202	*p-n-p*	2,0 (2,5)*	0,3	—30	2,5	20	1 (10)**	70
П203	*p-n-p*	2,0 (2,5)*	0,3	—30	2,5	10	1 (10)**	70
П213	*p-n-p*	5	0,5	—40	2,5	20	1 (11,5)**	85
П214	*p-n-p*	2	0,3	—55	2,5	20	1 (10)**	85
П215	*p-n-p*	2	0,5	—70	2,5	20	1 (10)**	85
П216	*p-n-p*	7,5	0,75	—40	0,5	18	(30)**	85
П217	*p-n-p*	7,5	0,75	—60	0,5	15	(30)**	85
КТ801А	*n-p-n*	2	0,4	+80	1,5	20	(5)**	150
КТ802А	*n-p-n*	5	1,0	+130	1,5	15	(30)**	150
П4БЭ	*p-n-p*	5	0,5	—60	0,5	20	3 (25)**	85
П4ВЭ	*p-n-p*	5	0,5	—35	0,5	25	3 (25)**	85
П4ГЭ	*p-n-p*	5	0,5	—60	0,5	25	3 (25)**	85
П4ДЭ	*p-n-p*	5	0,5	—60	0,5	30	3 (25)**	85
П702	*n-p-n*	2	0,5	+60	1,5	25	4 (40)**	150
КТ805	*n-p-n*	5 (8)*	2,0	+160	1,5	10	4 (40)**	150
П201А	*p-n-p*	12	0,5	—65	0,5—1,0	10	1,5 (30)**	85
ГТ701А	*p-n-p*	12	0,5	—100	0,5	10	1,5 (50)**	85

* В режиме переключения.

** С теплоотводом.

мощные транзисторы типа *p-n-p*: П4, П210, П216, П217. Они позволяют получить максимальный ток $I_в$ в нагрузке транзистора при заданных напряжениях генератора и сопротивлении обмотки возбуждения. При токе базы 50 *ма* падение напряжения $U_{к.э}$ отпертого транзистора перечисленных типов равно примерно 0,4 *в*, что эквивалентно наличию в цепи обмотки возбуждения дополнительного сопротивления 0,25 *ом*. Для сравнения укажем, что в реле-регуляторе РР-24 минимальное сопротивление равно примерно 1 *ом*. Это означает, что электронный регулятор будет иметь диапазон регулирования, превышающий в 4 раза диапазон регулирования РР-24.

Кремниевые мощные транзисторы КТ805 имеют несколько большее остаточное напряжение. Транзисторы П214, П201, П202, П203, П213 имеют остаточное напряжение в несколько раз большее, чем у более мощных транзисторов, поэтому применять их в управляющем элементе не следует.

Величина $U_{к.э}$ для всех транзисторов увеличивается с уменьшением сопротивления нагрузки. Однако основное значение для уменьшения остаточного напряжения имеет увеличение тока базы, который в свою очередь зависит от схемы включения нагрузки транзистора, напряжения сети и сопротивления резистора $R_б$, соединяющего базу с источником напряжения.

Схемы включения нагрузки управляющих элементов

Нагрузкой управляющего элемента служит обмотка возбуждения генератора. Возможны две схемы включения нагрузки: в цепь коллектора (схема с общим эмиттером) и в цепь эмиттера (схема с общим коллектором). В зависимости от полярности заземленного полюса электрооборудования может быть использована только определенная схема включения нагрузки. Это обусловлено тем, что у большинства генераторов один конец обмотки возбуждения постоянно соединен с корпусом (массой) автомобиля.

Так, для автомобилей с «минусом» на массе при использовании транзисторов типа *p-n-p* нагрузка может быть включена только в цепь коллектора транзистора, при использовании транзисторов типа *n-p-n* — только в цепь эмиттера. Для автомобилей с «плюсом» на массе при использовании транзисторов типа *p-n-p* нагрузка может быть включена в цепь эмиттера, при использовании транзисторов типа *n-p-n* — только в цепь коллектора (данные о проводимости транзисторов приведены в табл. 5).

Рассмотрим свойства различных схем включения нагрузки.

Схема с нагрузкой в цепи коллектора для электрооборудования с «минусом» на массе для транзистора типа *p-n-p* приведена на рис. 11, *а*. Транзисторы этого типа отпираются при подаче на базу отрицательного относительно эмиттера напряжения. Ток базы регулируют изменением сопротивления резистора $R_б$. Зависимость тока базы от сопротивления резистора $R_б$ для различных транзисторов приведена на рис. 11,б. Управляющий элемент для автомобилей с «плюсом» на массе и зависимости тока базы от сопротивления $R_б$ для различных транзисторов типа *p-n-p* приведены на рис. 12.

Управляющие элементы на транзисторах типа *n-p-n* и зависимости тока базы от сопротивления в цепи базы для генераторов с «минусом» или «плюсом» на массе приведены на рис. 13 и 14.

Анализируя приведенные зависимости тока базы от схемы включения нагрузки и проводимости транзисторов, видим две характерные группы кривых. При уменьшении сопротивления резистора $R_б$ ток базы в схемах, приведенных на рис. 11 и 14,

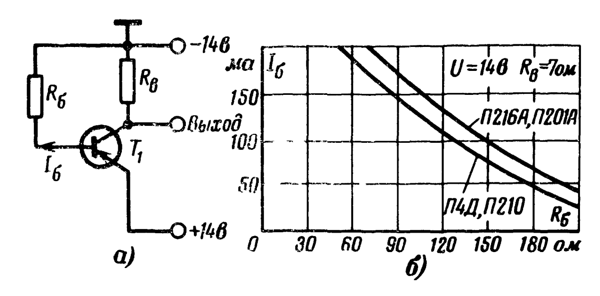


Рис. 11. Управляющий элемент на транзисторе типа *p-n-p* для генераторов с «минусом» на массе.

а — схема; *б* — зависимости $I_б$ от $R_б$.

нарастает быстро и уже при $R_б = 150$ *ом* превышает 50 *ма*, чем обеспечивается хорошее отпирание транзистора.

Для схем, приведенных на рис. 12 и 13, ток базы нарастает очень медленно, не достигая для некоторых транзисторов 50 *ма* даже при подаче на базу всего напряжения источника питания (14 *в*). Это объясняется значительной разницей входных сопротивлений схем с нагрузкой в цепи коллектора или в цепи эмиттера.

Управляющие элементы с нагрузкой в цепи коллектора (рис. 11 и 14) имеют входное сопротивление от 10 до 100 *ом* в зависимости от нагрузки и типа транзистора. Это означает, что необходимый ток базы (примерно 50 *ма*) может быть обеспечен напряжением от 0,5 до 5 *в*.

Такое отпирающее напряжение легко может быть получено измерительным элементом даже при напряжении генератора 6 *в*. Однако следует помнить, что измерительный элемент при этом должен обеспечить необходимый ток, т. е. иметь малое выходное сопротивление. Это приводит к необходимости применения в измерительном элементе транзистора средней мощности (П201, П202, П203, П214) или использования дополнительного каскада для согласования сопротивлений и усиления по току.

Схемы с нагрузкой в цепи эмиттера (см. рис. 12 и 13) имеют большое входное сопротивление: от 200 *ом* до нескольких килоом. Для того чтобы в этой схеме включения нагрузки надежно отпереть транзистор, необходимо иметь напряжение более 15 *в*.

Таким образом, для управляющих элементов 6- и 12-вольтовых генераторов могут быть использованы только схемы на рис. 11,*а* и 14,*а*. Причем для генератора с заземленным «минусом» должна быть применена схема с транзистором типа *p-n-p* (см. рис. 11), для генератора с «плюсом» на массе — только схема с транзистором типа *n-p-n* (рис. 14).

Для 24-вольтовых генераторов с «минусом» на массе могут быть применены схемы, приведенные на рис. 11 и 13, для 24-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе — схемы на рис. 12 и 14. Следует

отметить, что, используя схемы с нагрузкой в цепи эмиттера, можно создать более экономичный регулирующий элемент, так как в этом случае ток базы проходит через обмотку возбуждения, т. е. практически весь ток, потребляемый регулятором напряжения, будет использоваться для возбуждения генератора.

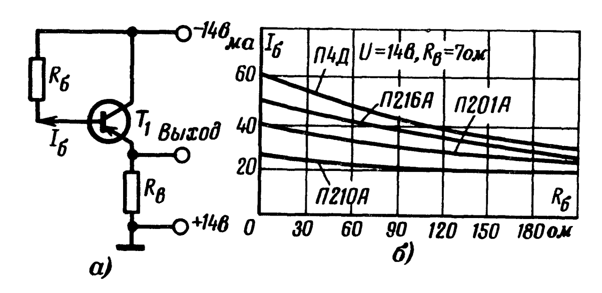


Рис. 12. Управляющий элемент на транзисторе типа *р-п-р* для генераторов с «плюсом» на массе.
а — схема; *б* — зависимости $I_б$ от $R_б$.

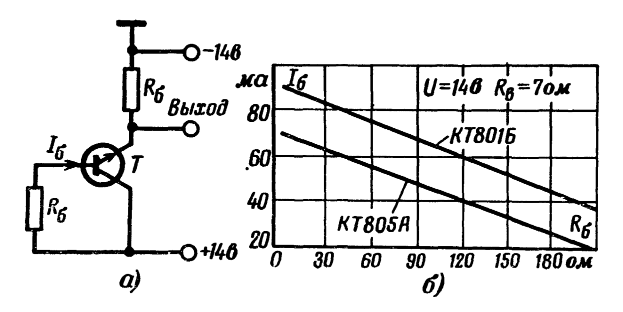


Рис. 13. Управляющий элемент на транзисторе типа *п-р-п* для генераторов с «минусом» на массе.
а — схема; *б* — зависимости $I_б$ от $R_б$.

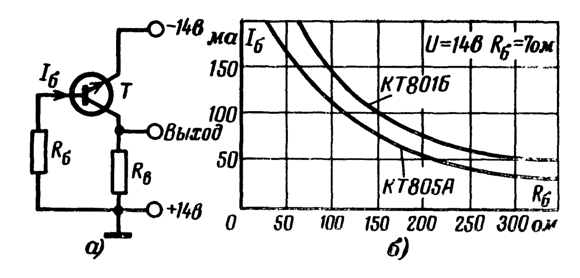


Рис. 14 Управляющий элемент на транзисторе типа *п-р-п* для генераторов с «плюсом» на массе.
а — схема; *б* — зависимости $I_б$ от $R_б$.

Схемы регуляторов напряжения

Используя полученные выше данные о преимуществах и недостатках различных схем измерительных и управляющих элементов, можно рассмотреть возможные варианты схем регуляторов напряжения. При анализе преимуществ и недостатков схем следует учитывать следующие факторы, лежащие в основе работы регуляторов напряжения

При превышении заданного номинала напряжения сети генератора на некоторую величину, которая определяет чувствительность регулятора напряжения, ток в обмотке возбуждения должен быть выключен. Напряжение на якоре генератора начнет уменьшаться и через некоторое время станет меньше номинала сети. Регулятор напряжения должен включить ток в обмотке возбуждения, напряжение в сети начнет увеличиваться, и процесс регулирования повторится. Таким образом, напряжение генератора будет колебаться около среднего значения, равного номиналу сети (см. рис. 4), величина которого задается измерительным элементом схемы регулирования.

Величина пульсаций напряжения сети определяется чувствительностью регулятора напряжения. Чувствительность определяется в свою очередь коэффициентом усиления схемы регулятора напряжения. Пульсации напряжения не ухудшают работу аккумуляторной батареи, системы зажигания и ламп. Однако при малой частоте пульсаций, что может быть при большой инерционности магнитного потока генератора и плохой чувствительности регулятора напряжения, будет наблюдаться неприятное для зрения мигание ламп[1]. Для исключения этого явления необходимо повышать коэффициент усиления регулятора напряжения, чтобы частота пульсаций была более 25 *гц*.

Таким образом, для того чтобы регулятор напряжения хорошо работал, необходимы достаточный коэффициент усиления и определенная закономерность протекания тока через обмотку возбуждения генератора: при напряжении генератора, меньшем заданного, регулятор напряжения должен создавать условия для протекания максимально возможного тока через обмотку возбуждения. Это будет обеспечивать установление заданного напряжения при меньших оборотах двигателя. При превышении заданного напряжения сети ток через обмотку возбуждения должен быть уменьшен или прекращен совсем.

Для того чтобы транзистор управляющего элемента был отперт, необходим определенный ток базы. Для запирания транзистора практически достаточно уменьшить напряжение смещения между эмиттером и базой до нуля.

Рассмотрим принципиальные возможности различных схем регуляторов напряжения. На рис. 15 приведены упрощенные схемы регуляторов напряжения для генераторов с заземленным «минусом». В схеме на рис. 15,*а* первый каскад (измерительный элемент) выполнен на транзисторе типа *n-p-n* (МП101, КТ801 и др.), второй каскад (управляющий элемент) — на транзисторе того же типа (например, КТ803, КТ805). Преимущество данной схемы заключается в

---

[1] Кроме этой причины, мигание ламп может наблюдаться при небольших оборотах двигателя вследствие переключения реле обратного тока.

достаточной температурной стабильности параметров, так как оба каскада могут быть выполнены на кремниевых транзисторах, устойчиво работающих до +130° С. При напряжении сети $U_с < U_{ном}$ транзистор T_1 будет заперт, так как в этом случае напряжение эмиттер — база транзистора будет равно нулю. Транзистор T_2 будет отперт, так как будет создан путь для тока базы через резис-

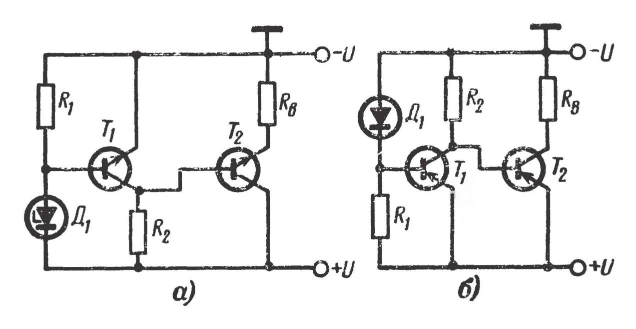


Рис. 15. Регуляторы напряжения для генераторов с «минусом» на массе.

а — на транзисторах типа n-p-n; б — на транзисторах типа p-n-p.

тор R_2. При напряжении сети больше $U_{ном}$ транзистор T_1 отопрется, в результате чего произойдет уменьшение положительного напряжения на базе транзистора T_2. Ток базы уменьшится, транзистор запрется. Правда, эта схема имеет один недостаток.

Дело в том, что для получения малого напряжения $U_{кэ}$ даже для транзистора КТ805 (см. рис. 9) необходимо обеспечить ток базы более 100 *ма*. Из графика, приведенного на рис. 13 для схемы с нагрузкой в цепи эмиттера, видно, что такой ток невозможно создать при напряжении менее 14 *в* даже при $R_б = 0$. Следовательно, данная схема может быть применена только для 24-вольтовых генераторов.

В схеме на рис. 15,*б* оба каскада выполнены на транзисторах типа *p-n-p*. При правильном выборе элементов схема хорошо работает при напряжениях более 4 *в*, т. е. пригодна для регулирования напряжения всех встречающихся на практике генераторов. Однако с температурной стабильностью параметров здесь сложнее, чем в предыдущей схеме Промышленностью выпускаются маломощные кремниевые транзисторы МП114—МП116. Их можно применять в измерительном элементе, что обеспечит необходимую точность поддержания заданного номинала напряжения регулятором. Однако ток этих транзисторов недостаточен для управления мощными транзисторами регулирующего

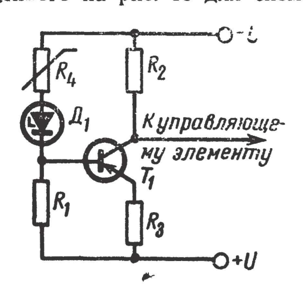


Рис. 16. Измерительный элемент с повышенной температурной стабильностью параметров.

элемента. Необходимо дополнительное усиление, т. е. по крайней мере еще один каскад.

При использовании германиевых транзисторов в измерительном элементе необходимо принимать меры к его температурной стабилизации, например включение в цепь эмиттера транзистора резистора R_3, а в цепь $R_1Д_1$ компенсирующего термосопротивления R_4 типа ММТ (рис. 16).

Для генераторов с «плюсом» на массе можно применить две схемы регуляторов напряжения (рис. 17). Схема, приведенная

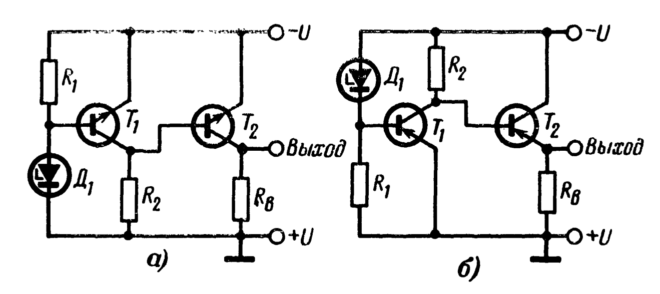


Рис. 17. Регуляторы напряжения для генераторов с «плюсом» на массе.

а — на транзисторах типа *n-p-n*; *б* — на транзисторах типа *p-n-p*.

на рис. 17, идеальна с точки зрения предъявленных выше требований. Оба каскада могут быть выполнены на кремниевых транзисторах, они оба хорошо отпираются и запираются. Схема может быть выполнена как на малые напряжения (5—6 *в*), так и на достаточно

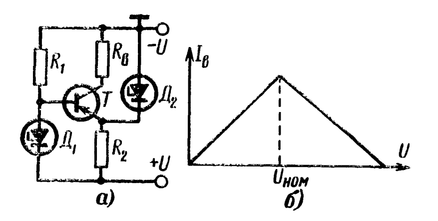


Рис. 18. Регулятор напряжения с одним транзистором.

а — схема; *б* — зависимость $I_в$ от *U*.

большие (150 *в* и выше). Недостаток ее — относительно высокая стоимость и дефицитность кремниевых транзисторов КТ801—КТ805.

Схема, приведенная на рис. 17,*б*, может быть выполнена на широко распространенных германиевых транзисторах. По сравнению с первой схемой ее регулирующей элемент будет работать хуже, так как он имеет нагрузку в цепи эмиттера. Однако эта схема регулирующего элемента имеет и преимущества. Во-первых, ток базы

транзистора T_2 проходит через обмотку возбуждения, т. е. повышается к. п. д. регулятора, а, во-вторых, не требуется специального резистора для температурной стабилизации параметров каскада, так как эту функцию выполняет сопротивление обмотки возбуждения $R_в$ генератора. Что же касается температурной стабилизации измерительного элемента, то для нее могут быть применены все рекомендации, приведенные выше.

Представляют интерес другие возможные пути регулирования напряжения. Остановимся кратко на двух из них. На рис. 18,*а* приведена схема регулятора напряжения с одним транзистором. Принципиальные отличия этой схемы от приведенных выше следующие: совмещение измерительного и регулирующего элементов и плавный режим регулирования тока и напряжения. Зависимость тока в обмотке возбуждения от напряжения сети генератора приведена на рис. 18,*б*. В схеме должны быть применены стабилитроны Д815. Следует обратить внимание, что низкие чувствительность и к. п. д. характерны для всех регуляторов напряжения плавного режима регулирования, так как скорость изменения регулирующего тока в этом случае ограничена инерционностью изменений магнитного потока и напряжения сети генератора.

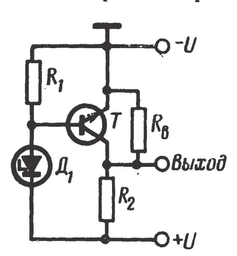


Рис. 19. Регулятор напряжения с транзистором, включенным параллельно обмотке возбуждения.

На рис. 19 приведена схема регулятора напряжения с параллельным включением транзистора и обмотки возбуждения генератора. Схема работает следующим образом. При $U_с < U_{ном}$ транзистор T_1 заперт и ток идет через резистор R_2 и обмотку возбуждения генератора $R_в$. При напряжении $U_с > U_{ном}$ транзистор отпирается и происходит перераспределение тока между транзистором и обмоткой возбуждения. При этом ток в обмотке возбуждения уменьшается. Схема имеет значительные недостатки, ограничивающие ее применение: необходимость включать последовательно с обмоткой возбуждения резистор R_2 и низкий к. п. д., так как потребляемый ток всегда больше максимального тока возбуждения генератора.

Каскады усиления

В случае применения маломощных транзисторов в измерительном элементе или при недостаточной чувствительности регулятора напряжения появляется необходимость введения дополнительного каскада усиления. При этом в первую очередь необходимо сохранить правильное фазирование срабатывания схемы: транзистор регулирующего элемента должен быть отперт при напряжении $U_с < U_{ном}$ и заперт при $U_с > U_{ном}$.

Следует помнить, что каскад с нагрузкой в цепи коллектора (рис. 20,*а*) переворачивает фазу, т. е. при введении такого каскада в регулятор напряжения транзистор регулирующего элемента будет заперт при $U_с < U_{ном}$ и отперт при $U_с > U_{ном}$. Для сохранения правильного фазирования необходимо вводить два каскада усиления.

Каскад с нагрузкой в эмиттере сохраняет фазу неизменной, но имеет малый коэффициент усиления. Большой коэффициент усиления можно получить с помощью использования схем «составных» транзисторов.

На рис. 20,*б* приведена схема составного транзистора, который может быть применен в регуляторе напряжения для генераторов с заземленным «минусом». Транзистор T_1 — средней мощности, T_2 — большой мощности — он и служит управляющим элементом регулятора напряжения.

Эта схема имеет следующие достоинства: неизменность фазы; большой коэффициент усиления по току, равный произведению коэффициентов усиления каждого транзистора в отдельности; использование тока коллектора первого транзистора для управления генератором; простота схемы.

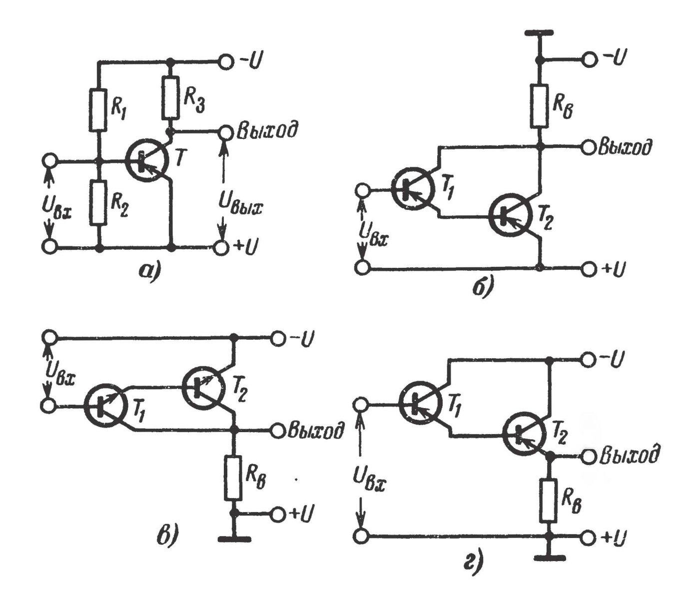


Рис. 20. Дополнительные каскады усиления.

а — с переворачиванием фазы; *б* — составной транзистор для генераторов с «минусом» на массе; *в* — составной транзистор для генераторов с «плюсом» на массе на транзисторах типа *n-p-n*; *г* — составной транзистор для генераторов с «плюсом» на массе на транзисторах типа *p-n-p*.

Для генераторов с заземленным «плюсом» могут быть использованы составные транзисторы, показанные на рис. 20, *в* и *г*. Схема на рис. 20,*в* пригодна для управляющего элемента с транзистором типа *n-p-n* (см. рис. 17, *а*), схема на рис. 20,*г* — для управляющего элемента с транзистором типа *p-n-p* (рис. 17,*б*). Достоинства схем примерно такие же, как схемы на рис. 20,*б*, однако схема на рис. 20,*в* переворачивает фазу.

Глава третья

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе

Схема электронного регулятора напряжения, ограничителя максимального тока, реле обратного тока и защиты выходного транзи-

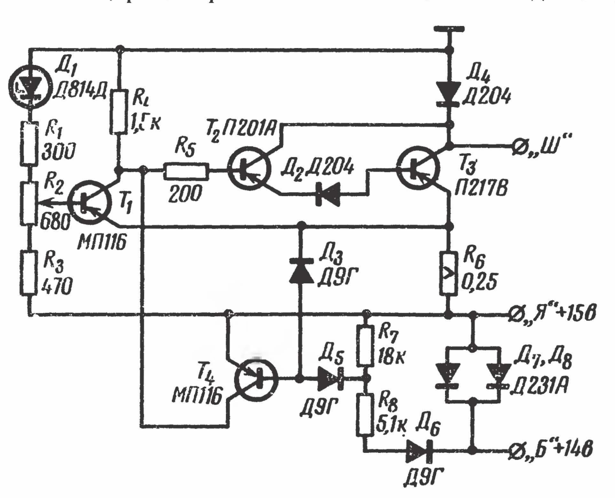


Рис. 21. Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе.

стора приведена на рис. 21. Регулятор может быть использован для генераторов автомобилей «Волга», «Москвич» и любых других 12-вольтовых генераторов постоянного тока с «минусом» на массе.

Регулятор напряжения выполнен на трех транзисторах: T_1, T_2 и T_3. Измерительный элемент состоит из делителя напряжения (резисторы R_1—R_5, стабилитрон $Д_1$), транзистора T_1 и представляет собой мостовую спусковую схему. При увеличении напряжения генератора напряжение на коллекторе транзистора T_1 по отношению к эмиттеру увеличивается до определенного момента (рис. 22), после чего происходит отпирание транзистора и уменьшение напряжения участка коллектор — эмиттер $U_{к.э}$ практически до нуля. При умень-

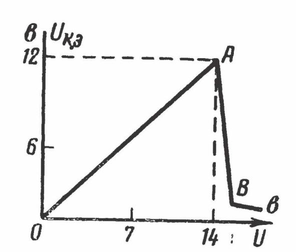


Рис. 22. Характеристика измерительного элемента регулятора.

шении напряжения генератора происходит обратный процесс запирания транзистора. Рабочий участок *АВ* характеристики измерительного элемента имеет очень высокую крутизну порядка 30 *в/в* и значительный перепад напряжений, равный 8—12 *в*. Напряжение перехода транзистора из запертого состояния в отпертое и обратно определяется моментом пробоя стабилитрона $Д_1$. Напряжение сети $U_{ном}$, при котором пробивается стабилитрон, зависит от напряжения его пробоя и сопротивлений резисторов $R_1 — R_3$. Переменный резистор R_2 позволяет плавно изменять напряжение сети генератора от 13 до 16 *в*.

Применение кремниевого стабилитрона Д814Д и кремниевого транзистора МП116 обеспечивает хорошую температурную стабильность регулятора напряжения. Кроме того, частичная температурная компенсация получается от резисторов R_1 и R_2.

Регулирующим элементом в данной схеме служит составной транзистор T_2, T_3, позволяющий получать необходимое изменение тока в обмотке возбуждения генератора. Применение составного транзистора позволяет получить большой коэффициент усиления по току, благодаря чему можно применить маломощный транзистор в измерительном элементе. Кроме того, большой коэффициент усиления необходим для получения высокой чувствительности регулятора напряжения, т. е. надежного отпирания и запирания транзистора T_3 при минимальных изменениях напряжения генератора.

Транзистор T_3 выбирают с учетом максимального тока в обмотке возбуждения генератора. Максимальный ток наблюдается при наибольшей нагрузке (включены все потребители электроэнергии) и малых оборотах якоря генератора. Для нормальных режимов работы генераторов легковых автомобилей он имеет значения от 1,5 до 3 *а* (см. табл. 4). Минимальный ток в обмотке возбуждения протекает при минимальной нагрузке и больших оборотах якоря генератора и составляет 0,3—0,5 *а*. Таким образом, минимально необходимый диапазон регулирования, требующийся от регулятора напряжения, равен 0,3—3 *а*. Однако чем больший диапазон может быть обеспечен регулятором, тем лучше будут использованы возможности генератора по поддержанию номинального напряжения сети, тем выше будет к. п. д. регулятора.

Пределы регулирования тока регулятором в реальной схеме составляют 0,005—3,3 *а* при напряжении $U_с = 14$ *в* и сопротивлении обмотки возбуждения $R_в = 3,5$ *ом*.

Регулятор напряжения работает в импульсном режиме. Этот режим позволяет получить высокий к. п. д. регулятора в целом, большую надежность его работы и малый нагрев транзистора T_3. Процесс регулирования напряжения происходит следующим путем. При малых оборотах якоря генератора и напряжении сети ниже номинального с коллектора транзистора T_1 на базу транзистора T_2 подается отрицательное напряжение, которое отпирает транзисторы T_2 и T_3. В цепи обмотки возбуждения проходит максимальный ток, определяемый напряжением на обмотке якоря генератора и суммой сопротивлений обмотки возбуждения и отпертого транзистора. Сопротивление отпертого транзистора равно примерно 1 *ом* (вместе с резистором R_6), поэтому уже при частоте вращения якоря 800—1 200 *об/мин* достигается напряжение 13,5—15 *в* на якоре генератора. Номинальное напряжение сети (зажим *Б* регулятора) выбирают в соответствии с табл. 1 и устанавливают переменным резистором R_2.

По достижении требуемого напряжения происходит пробой стабилитрона $Д_1$, отрицательное напряжение подается на базу транзистора T_1, и он отпирается. Напряжение участка коллектор—эмиттер резко падает почти до нуля, что приводит к запиранию транзисторов T_2 и T_3. Ток через транзистор T_3 скачком уменьшается до величины начального тока, равного для данной схемы 0,005 *а*. Это приведет к уменьшению тока и магнитного потока возбуждения, что в свою очередь вызовет уменьшение напряжения на обмотке якоря генератора. Уменьшения напряжения на 0,2 — 0,3 *в* достаточно для срабатывания измерительной схемы и переключения транзисторов T_2, T_3 в отпертое состояние. Ток в обмотке возбуждения возрастет до максимального, что приведет к увеличению магнитного потока возбуждения и напряжения генератора. В дальнейшем цикл управления будет повторяться. Таким образом, мощный управляющий транзистор T_3 работает в ключевом режиме, скачкообразно переходя из отпертого состояния в запертое и обратно.

Следует помнить, что в момент переключения транзистора на нем выделяется наибольшая мощность. Но длительность переключения мала — десятки микросекунд. Рассеиваемая мощность в отпертом и запертом состояниях транзистора очень мала (примерно 0,5 *вт*), поэтому при работе регулятора транзистор не нагревается и может быть установлен без теплоотвода.

Однако в режиме переключения тока возбуждения возможны резкие выбросы напряжения на участке эмиттер — коллектор транзистора T_3. Обмотка возбуждения генератора имеет значительное индуктивное сопротивление и при резком уменьшении тока в ней наводится большая э. д. с. самоиндукции. Она может оказаться причиной большого избыточного напряжения между электродами транзистора, которое может привести к выходу его из строя. Кроме того, эта э. д. с. создает выбросы напряжения и на якоре генератора, что тоже нежелательно.

Поэтому приходится принимать специальные меры для предотвращения этих явлений. Простейший способ — шунтирование обмотки возбуждения диодом $Д_4$. Если транзистор T_3 находится в отпертом состоянии, то диод заперт, ток возбуждения равен коллекторному току. При резком переходе транзистора в запертое состояние диод образует цепь для замыкания тока возбуждения, который вследствие индуктивного характера обмотки не может измениться скачкообразно. Форма кривой изменения тока возбуждения в этом случае не повторяет форму кривой коллекторного тока, ток возбуждения уменьшается значительно медленнее. Резкого выброса напряжения при этом не происходит.

Шунтирование обмотки возбуждения диодом $Д_4$ имеет еще одну положительную сторону. Так как электронный регулятор напряжения имеет высокую чувствительность и малую инерционность, то он успевает переключиться из запертого состояния в отпертое еще до того, как ток возбуждения уменьшится до нуля. В результате этого среднее значение тока возбуждения больше среднего значения тока через транзистор, а пульсации напряжения на якоре генератора значительно уменьшаются. На рис. 23 приведены осциллограммы напряжения и тока возбуждения, а также напряжения на якоре генератора в период возбуждения генератора (участок t_0 t_1) и при нормальной работе регулятора напряжения (участок t_1 t_2).

Амплитуда пульсаций в основном определяется чувствительностью регулятора напряжения и индуктивностью обмоток генерато-

ра. Частота пульсаций и частота включений и выключений тока через коллектор транзистора T_3 зависят от чувствительности регулятора, нагрузки и частоты оборотов якоря генератора. Чем меньше частота оборотов якоря генератора и чем больше нагрузка, тем больше период, в течение которого протекает максимальный ток в обмотке возбуждения, тем выше частота. Для данного регулятора частота пульсаций изменяется в пределах от 50 до 2000 *гц*.

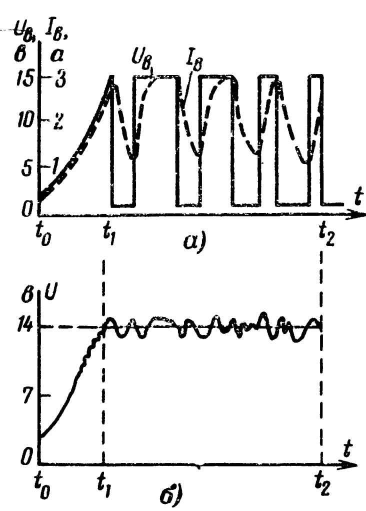


Рис. 23. Осциллограммы работы регулятора напряжения.

а — изменение напряжения и тока возбуждения; *б* — изменение напряжения на якоре генератора.

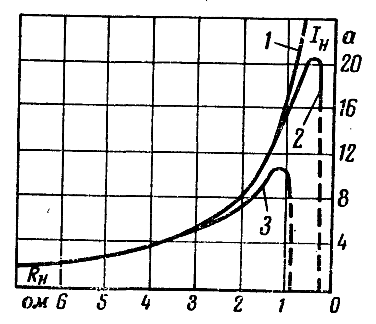


Рис. 24. Характеристика ограничителя максимального тока.

1 — без ограничителя; *2* — $I_{огр}=10$ *а*; *3* — $I_{огр}=20$ *а*.

Положительное влияние на надежное запирание транзистора T_3 регулирующего каскада при повышении температуры окружающей среды оказывает резистор R_6. Он включен в цепь эмиттеров транзисторов T_1 и T_3 и осуществляет температурную стабилизацию режимов этих транзисторов. Благодаря этому регулятор напряжения устойчиво работает до температуры $+65°$ С.

Кроме того, резистор R_6 обеспечивает обратную связь по току возбуждения при изменении нагрузки, чем достигается компенсация изменения напряжения на нагрузке. При увеличении тока нагрузки от 5 до 20 *а* падение напряжения на кремниевых диодах $Д_7$, $Д_8$ (реле обратного тока) увеличивается на 0,4—0,5 *в*. Следовательно, для получения постоянства напряжения на нагрузке необходимо повышать напряжение на якоре генератора при увеличении тока нагрузки. Для этого сопротивление резистора R_6 выбирают определенной величины, а падение напряжения с него подается на эмиттер транзистора T_1. Это приводит к увеличению напряжения на якоре генератора при увеличении тока возбуждения и компенсации изменения напряжения на нагрузке.

Кремниевый диод $Д_2$ ограничивает обратный ток базы транзистора T_3 и обеспечивает лучшее запирание и температурную стабилизацию регулирующего каскада.

Реле обратного тока служит для автоматического замыкания электрической цепи между генератором и аккумуляторной батареей, когда напряжение генератора больше напряжения батареи, и для

размыкания цепи, когда напряжение генератора ниже напряжения батареи, что предупреждает ее разряд через генератор. В качестве реле обратного тока применены силовые кремниевые диоды $Д_7$, $Д_8$ (Д231), соединенные параллельно. Желателен подбор диодов по падению напряжения при максимальном токе. Необходимо принять меры для отвода тепла, так как при максимальном токе на диодах рассеивается мощность 20—30 *вт*.

Ограничитель максимального тока. Для предупреждения перегрева и последующего **разрушения изоляции обмотки якоря и обмотки** возбуждения генератора необходимо ограничивать максимальный ток, отдаваемый генератором. Ограничитель максимального тока выполнен на транзисторе T_4 и работает следующим образом. Падение напряжения на диодах $Д_7$, $Д_8$ подается через диод $Д_6$ на делитель R_7 R_8 и через диод $Д_5$ на базу транзистора T_4. При токе нагрузки 18—20 *а* падение напряжения достигает 1,2—1,5 *в* и транзистор T_4 отпирается. Коллектор этого транзистора соединен с коллектором транзистора T_1, и независимо от состояния последнего транзисторы T_2 и T_3 запрутся и ток в обмотке возбуждения прекратится. Напряжение и ток нагрузки уменьшатся. Когда падение напряжения на диодах $Д_7$, $Д_8$ уменьшится настолько, что транзистор T_4 запрется, через обмотку возбуждения генератора снова пойдет ток. Если нагрузка не уменьшилась и ток после этого вновь достигнет максимума, ограничитель сработает вторично.

Таким образом, ограничитель максимального тока поддерживает ток, протекающий через нагрузку, на заданном уровне. В зависимости от параметров делителя R_7, R_8 этот уровень можно установить от 5 до 25 *а*.

Характеристика ограничителя максимального тока приведена на рис. 24. Эти снятые экспериментально кривые зависимости тока через нагрузку от сопротивления нагрузки подтверждают высокую эффективность работы ограничителя.

В частности, при коротком замыкании ($R_4 \approx 0$) ток через нагрузку прекратится полностью, т. е. данный ограничитель позволяет устранить указанный в гл. 1 недостаток обычных ограничителей максимального тока.

Если реле обратного тока выполнено на германиевых диодах, то падение напряжения на этих диодах (0,3—0,5 *в*) будет недостаточно для срабатывания ограничителя тока. Для увеличения падения напряжения до минимально необходимого (0,7—0,8 *в*) можно включить небольшой проволочный резистор последовательно с диодами $Д_7$, $Д_8$. Однако более целесообразно использовать дополнительное падение напряжения на проводах, по которым проходит ток нагрузки. Для этого ограничитель тока нужно подсоединить к зажиму *Я* самого генератора и к зажиму «+» аккумуляторной батареи.

Устройство защиты выходного транзистора предназначено для предотвращения выхода из строя транзистора T_3 при коротком замыкании обмотки возбуждения или проводов, соединяющих ее с регулятором напряжения (зажимы *Ш*), на корпус автомобиля. Для этого напряжение с резистора R_6 подается через диод $Д_3$ на транзистор T_4. При увеличении тока через транзистор T_3 увеличивается падение напряжения на резисторе R_6. Как только падение напряжения достигнет 0,8 *в*, транзистор T_4 отопрется, а выходной транзистор T_3 запрется. Ток через транзистор T_3 прекратится, падение напряжения на резисторе R_6 станет меньше, транзистор T_4 за-

прется, а ток через транзистор T_3 начнет увеличиваться. В результате работы схемы защиты через транзистор будет проходить ток, не превышающий максимально допустимый для данного транзистора (7,5 *а*).

Максимальный ток определяется сопротивлением резистора R_6.

Выбор сопротивления резистора R_6 определяется тремя функциями, выполняемыми резистором.

Во-первых, этот резистор выполняет температурную стабилизацию режима мощного выходного транзистора T_3. С этой точки зрения чем больше сопротивление резистора, тем лучше.

Во-вторых, резистор обеспечивает падение напряжения, необходимое для срабатывания устройства защиты (транзистора T_4). В этом случае сопротивление резистора должно быть таким, чтобы при максимально допустимом токе через коллектор транзистора T_3 (см. табл. 5) падение напряжения на резисторе было не менее 0,8 *в*. С другой стороны, желательно, чтобы при максимальном токе возбуждения генератора (см. табл. 4) падение напряжения было меньше 0,8 *в*.

В-третьих, этот резистор используется в качестве обратной связи для компенсации уменьшения выходного напряжения при повышении тока нагрузки Из вольт-амперных характеристик диодов, используемых для реле обратного тока (см. рис. 2), видно, что с увеличением тока падение напряжения на диодах увеличивается. Так как регулятор поддерживает постоянный уровень напряжения на якоре генератора, то напряжение на нагрузке будет изменяться в зависимости от падения напряжения на диодах реле обратного тока. Для компенсации этого изменения используется резистор R_6. С этой целью измерительный элемент регулятора напряжения включают так, чтобы напряжение на якоре генератора было выше на величину падения напряжения на резисторе R_6. Так как при увеличении тока нагрузки, как правило, увеличивается ток возбуждения, то при этом будет увеличиваться падение напряжения на резисторе R_6. Задача сводится к правильному выбору сопротивления резистора для данного типа генератора и диодов реле обратного тока.

Пусть реле обратного тока выполнено на диодах Д231. Из графиков на рис. 2 находим, что при минимальном токе нагрузки 1,5 *а* (на каждый диод) падение напряжения составит 0,85 *в*, при токе 9 *а* — 1,3 *в*. Разница равна 0,45 *в*. Ее необходимо компенсировать изменением тока возбуждения. Для генераторов с сопротивлением обмотки возбуждения примерно 7 *ом* (автомобили «Волга», «Победа», «Москвич-402», «Москвич-403», «Москвич-407») максимальный ток возбуждения составляет 1,7 *а*. Если взять минимальный ток возбуждения равным 0,5 *а*, то можно считать, что при изменении тока нагрузки от 3 до 18 *а* ток возбуждения генератора будет изменяться от 0,5 до 1,7 *а*, т. е. на 1,2 *а*. Это означает, что сопротивление резистора должно быть равно

$$R_6 = 0{,}45 : 1{,}2 = 0{,}375 \text{ ом}.$$

Для автомобиля «Москвич-408» сопротивление резистора будет несколько меньше, так как максимальный ток возбуждения генератора Г108М этого автомобиля больше:

$$R_6 = 0{,}45 : 2{,}5 = 0{,}18 \text{ ом}.$$

Если сопротивление резистора R_6 получилось больше и падение на нем превышает 0,8 *в* при максимальном токе возбуждения, то параллельно ему необходимо включить переменный резистор, с движка которого напряжение подавать на диод $Д_3$.

Результаты испытаний. Данный регулятор испытывался в течение нескольких лет на различных автомобилях и показал хорошие результаты. Сравнительные испытания электронного регулятора и стандартного РР-24Г проводились на автомобиле «Москвич-408Э». Они показали, что электронный регулятор во всех режимах имеет лучшие показатели. При изменении нагрузки в нормальных условиях ($T=40°$ С) напряжение, поддерживаемое регулятором РР-24Г, изменяется на 0,7 *в*, электронным — на 0,3 *в*. При изменении числа оборотов двигателя у РР-24Г напряжение изменялось при всех изменениях нагрузки, у электронного — только при включении ближнего света фар. При изменениях температуры от 18 до 40° С максимальное изменение напряжения при механическом регуляторе составляет 0,5 *в*, при электронном — всего 0,1 *в*.

Обычно автолюбители считают, что реле-регулятор работает нормально, если после работы стартера или в начале поездки наблюдается подзарядка аккумулятора, и на протяжении нескольких лет не проверяют работу реле-регулятора. В гл. 1 показано, что этого недостаточно. Необходимо, чтобы, во-первых, регулятор напряжения поддерживал определенное оптимальное напряжение, а, во-вторых, чтобы это напряжение мало изменялось при изменении числа оборотов, включении фар и т. п. Проверка стандартных регуляторов напряжения автолюбителей показала, что 40% реле-регуляторов работает неудовлетворительно.

Проверка работы регулятора напряжения достаточно проста. Вольтметр постоянного тока с точностью отсчета не хуже 0,2 *в* подсоединяют к аккумуляторной батарее. Затем измеряют напряжение при изменении числа оборотов двигателя, а также включении ближнего и дальнего света фар. Если напряжение отличается от оптимального (см. табл. 1) не более чем на 0,5 *в*, то регулятор работает нормально. Опыт лучших водителей показывает[1], что такую проверку надо делать каждые 4—6 тыс. *км* пробега автомобиля, а оптимальное напряжение устанавливать в зависимости от условий эксплуатации. Проверку напряжения следует делать после прогрева двигателя.

Схема с дополнительным выводом. Электронный регулятор напряжения может быть конструктивно выполнен в корпусе любого стандартного регулятора. Его схема разработана так, чтобы полностью заменить электромеханический реле-регулятор. При этом отсоединяют все провода от реле-регулятора, установленного на автомобиле, и подключают их к одноименным зажимам *Б*, *Я* и *Ш* электронного регулятора.

Если несколько изменить схему подключения, то можно получить идеальную регулировочную характеристику, когда при изменениях нагрузки и числа оборотов двигателя напряжение сети практически не изменяется. Для этого напряжение на регулятор напряжения необходимо подавать с нагрузки (зажим *Б*). Однако напря-

---

* Е. В. Зеленчук, Л. М. Зельдес, М. В. Корогодский, Увеличение срока службы аккумуляторных батарей, Государственное издательство технической литературы УССР, Киев, 1953.

жение на этот зажим подается постоянно, даже при неработающем двигателе. Поэтому нужно сделать дополнительный вывод (*ВЗ*) и подсоединить его к любой точке, куда подается напряжение через замок включения зажигания, например в автомобиле «Москвич-408» — к любому зажиму блока предохранителей, находящегося справа от реле-регулятора. Необходимо изменить номиналы некоторых деталей.

Схема в этом случае одинакова со схемой для генераторов переменного тока (см. рис. 28), но должна быть дополнена реле обратного тока.

Регулятор для 24-вольтовых генераторов с «минусом» на массе

Для регуляторов на это напряжение может быть использована схема для 12-вольтового генератора (см. рис. 21) с некоторыми изменениями.

Стабилитрон Д814Д необходимо заменить двумя диодами Д814Г, включенными последовательно. Резистор R_1 может быть исключен, а сопротивление резистора R_3 — увеличено до 1 *ком.* Транзисторы T_1 и T_4 желательно заменить транзисторами МП105 или МП115, имеющими более высокое допустимое напряжение на коллекторе. Сопротивление резистора R_4 должно быть увеличено до 2,5 *ком*, а резистора R_6 — до 0,5 *ом.*

При напряжении U_c=25 *в* регулятор обеспечивает пределы регулирования от 0,01 до 1,4 *а* при сопротивлении обмотки возбуждения 18 *ом.*

Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе

Регулятор предназначен для автомобилей старых выпусков, имеющих электрооборудование с «плюсом» на массе. Он может быть выполнен на транзисторах типа *р-п-р* (рис. 25) и транзисторах

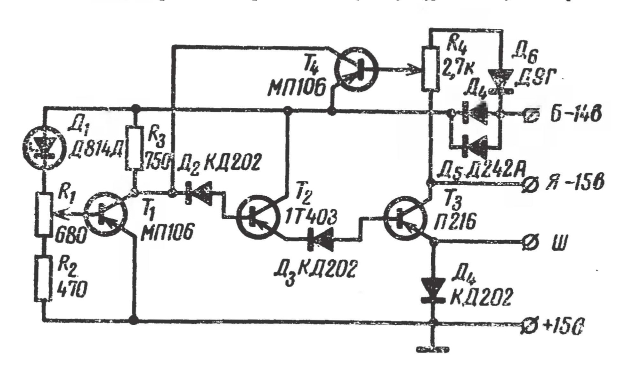


Рис. 25. Схема регулятора для 12-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе.

типа *п-р-п* (рис. 26). Последняя схема имеет лучшие характеристики и более проста, но может быть выполнена только на дорогостоящих кремниевых транзисторах.

Принцип работы обоих регуляторов такой же, как и регулятора для генераторов с «минусом» на массе (см. рис. 21). Регулятор на транзисторах типа *p-n-p* (рис. 25) имеет диапазон регулирования 0,015—1,7 *а* при напряжении сети $U_с=14$ *в* и сопротивлении обмотки возбуждения 7 *ом*. Падение напряжения на транзисторе T_3 в отпертом состоянии $U_{к.э}=1{,}4$ *в*.

Регулятор на транзисторах типа *n-p-n* (рис. 26) при тех же условиях имеет диапазон регулирования 0,001—1,93 *а* и падение напряжения на транзисторе T_2 в отпертом состоянии $U_{к.э}=0{,}5$ *в*.

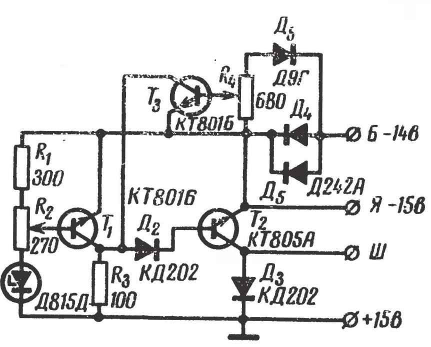


Рис. 26. Схема регулятора для 12-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе.

Регулятор для 6-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе

Регулятор (рис. 27) может быть использован в автомобиле «Москвич-401», автомобилях иностранных марок и мотоциклах, имеющих напряжение сети 6 *в*.

Регулятор с хорошими характеристиками может быть выполнен только на транзисторах типа *n-p-n*, так как с понижением напряжения ухудшаются условия отпирания выходного транзистора.

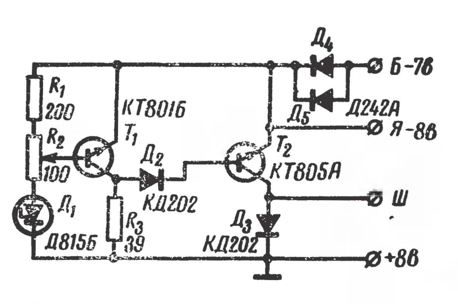


Рис. 27. Схема регулятора для 6-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе.

При напряжении $U_с=7$ *в* и сопротивлении обмотки возбуждения $R_в=3{,}5$ *ом* регулятор обеспечивает диапазон регулирования 0,005—1,7 *а* при падении напряжения на транзисторе T_2 в отпертом состоянии $U_{к.э}=1$ *в*.

В связи с тем что стабилитроны Д815Б имеют значительный разброс, необходимо их подбирать по напряжению стабилизации. Пригодны стабилитроны с напряжением стабилизации 6—7 *в*.

Регулятор для 12-вольтовых генераторов переменного тока с «минусом» на массе

Генераторы переменного тока позволяют получить бо́льшую мощность при тех же габаритах и весе, что и генераторы постоянного тока, но они проще по конструкции, более надежны в эксплуатации. Эти генераторы отдают мощность до 30% номинальной при работе двигателя на малых оборотах, что увеличивает срок службы

аккумуляторных батарей. Поэтому генераторы переменного тока с электромагнитным возбуждением устанавливают на всех новых легковых автомобилях, в частности на автомобилях «Москвич-412», ЗАЗ-966В, «Запорожец». Обмотка возбуждения генераторов этих автомобилей питается постоянным током от аккумуляторной батареи или выпрямителя.

Переменный ток генератора выпрямляется полупроводниковыми кремниевыми диодами. Эти диоды одновременно используются в качестве реле обратного тока.

Электронный регулятор напряжения (рис. 28) по схеме и принципу работы аналогичен регулятору для генераторов постоянного тока (см. рис. 21). Особенность этого регулятора заключается в том,

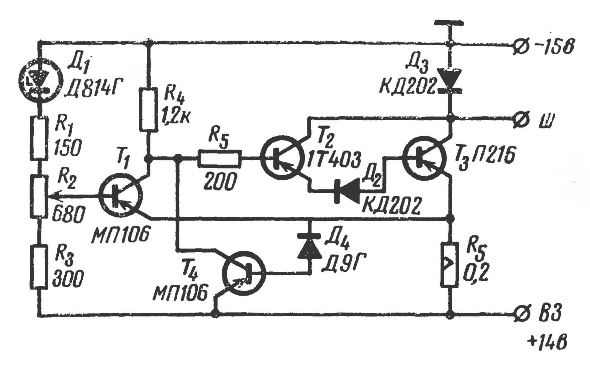


Рис. 28. Схема регулятора для 12-вольтовых генераторов переменного тока.

что его схема подключена непосредственно к нагрузке через выключатель зажигания (зажим *ВЗ*). В связи с этим изменены номиналы некоторых элементов схемы.

Устройство защиты выходного транзистора от перегрузок при коротком замыкании зажима *Ш* на корпус выполнено на транзисторе T_4. Сопротивление резистора R_5 выбрано таким, чтобы при максимальном токе возбуждения для данного генератора (этот ток проходит от зажима *ВЗ* через резистор R_5 и транзистор T_3 к зажиму *Ш* и через обмотку возбуждения на корпус) на резисторе падало напряжение 0,7—0,8 *в*. При этом значении напряжения транзистор T_4 отпирается и запирает транзистор T_3. Этим достигается ограничение на заданном значении максимального тока возбуждения и частично максимального тока нагрузки.

Диапазон регулирования регулятора 0,005—3,1 *а* при $U_c = 14$ *в* и сопротивлении обмоток возбуждения $R_в = 3,5$ *ом*.

При использовании электронного регулятора в автомобилях ранних выпусков, где установлены селеновые выпрямители, необходимо заменить селеновые элементы кремниевыми диодами (см. табл. 2). Это уменьшит габариты выпрямителя и повысит его надежность.

Кроме того, в этом случае не будет требоваться реле выключения в схеме регулятора напряжения, не предусмотренного в электронном регуляторе.

Глава четвертая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Конструкция

Электронный регулятор может быть изготовлен любым радиолюбителем или автолюбителем, знакомым с основами монтажа и регулировки транзисторных схем. Автолюбители, не имеющие элементарного опыта, могут ограничиться изготовлением только регулятора напряжения с реле обратного тока (без ограничителя тока), что значительно упростит задачу.

Описание конструкции регулятора сделано для наиболее распространенных 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе (см. рис. 21.)

Прежде всего необходимо уточнить, какой полюс аккумуляторной батареи соединен с массой, и выбрать соответствующую схему регулятора (см. гл. 3). При этом желательно уточнить сопротивление обмотки и максимальный ток возбуждения генератора. Ориентировочные данные можно взять из табл. 4. Однако в связи с тем, что заводы проводят модернизацию генераторов, сопротивления обмоток генераторов разных выпусков могут значительно различаться.

Для определения сопротивления обмотки возбуждения необходимо при неработающем двигателе отсоединить провод, идущий от генератора к зажиму *Ш* реле-регулятора, этот провод через амперметр постоянного тока (со шкалой до 4 *а*) соединить с зажимом *Б* и измерить ток. Разделив напряжение аккумуляторной батареи на ток, получим сопротивление обмотки возбуждения генератора.

Целесообразно разместить детали схемы в кожухе стандартного реле-регулятора. После этого необходимо выбрать место размещения регулятора. Обычно его устанавливают вместо стандартного регулятора.

При использовании корпуса реле РР-24 необходимо удалить с него все детали, за исключением зажимов *Б, Я, Ш*. В металлическом шасси надо высверлить, а затем прорубить отверстие размером 45×95 *мм* и заготовить две платы из гетинакса размером 50×100 *мм*. Одну плату устанавливают сверху, а другую — снизу отверстия в шасси регулятора. На нижней плате (рис. 29) располагают все детали, за исключением кремниевых диодов и резистора R_2. Последние располагают на верхней плате (рис. 30) так, чтобы реле закрывалось крышкой.

Следует помнить, что при работе реле обратного тока (диоды $Д_7$, $Д_8$) рассеиваемая в виде тепла мощность достигает 25 *вт*, поэтому эти диоды должны быть установлены на теплоотводе площадью 100—150 *см*^{2}, а в крышке должны быть сделаны сквозные отверстия для лучшей вентиляции. На теплоотводе устанавливают переменный резистор R_2 так, чтобы через отверстие в крышке можно было регулировать напряжение сети, вращая ось этого резистора. Резистор R_2 должен быть проволочным, например ППЗ-43, так как в резисторах СПО при длительных вибрациях нарушается контакт. Резистор R_6 должен быть изготовлен из высокоомной проволоки диаметром 0,5—0,8 *мм*. Для его намотки можно использо-

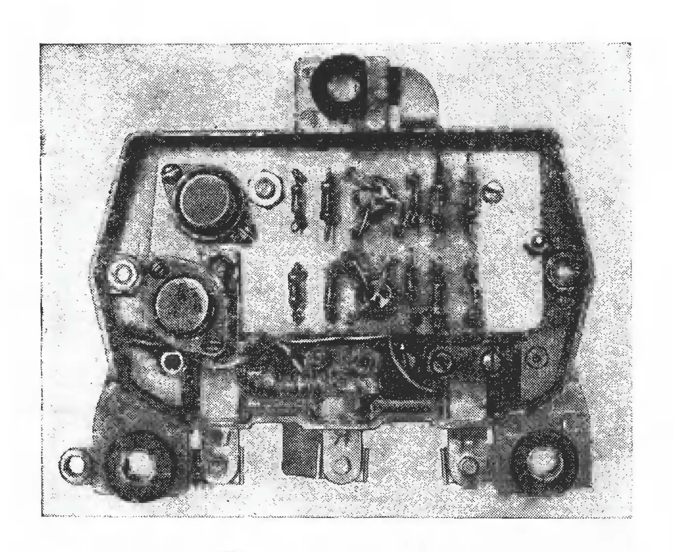


Рис. 29. Нижняя плата регулятора.

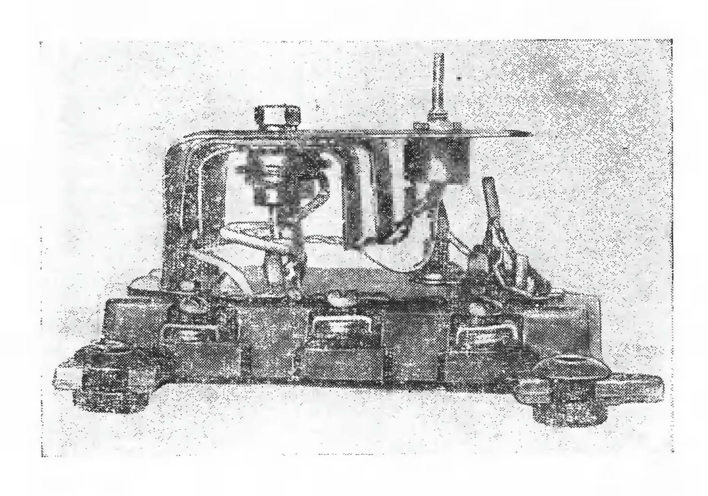


Рис. 30. Вид на регулятор сбоку.

вать спираль электрической плитки и каркас одного из резисторов, снятых со стандартного регулятора. Остальные резисторы должны быть рассчитаны на мощность рассеяния не менее 0,25 *вт*.

В случае отсутствия диодов и транзисторов, указанных в схеме, можно заменить их другими, однако в ряде случаев потребуется подгонка режимов.

Стабилитрон $Д_1$ Д814Д (Д813) может быть заменен (см. табл. 3) стабилитронами Д814Г (Д811), Д814В (Д810), Д818. В этом случае целесообразно сопротивление переменного резистора R_2 увеличить до 1 *ком*.

Транзисторы T_1 и T_2 МП116 могут быть заменены кремниевыми транзисторами МП104, МП105, МП106, МП114, МП115 и германиевыми МП14, МП15, МП16, МП25, МП-26, МП-42 и др. типа *p-n-p*, но в случае применения германиевых транзисторов температурная стабильность регулятора будет хуже.

Транзистор П201 может быть заменен транзисторами П403 П202, П203, П213, П214, П215.

Вместо выходного транзистора T_3 П217 можно использовать (см. табл. 5) транзисторы П216, П4, П210, ГТ701.

Диоды Д204 могут быть заменены кремниевыми диодами Д202, Д203, Д205, КД202, Д237А или более мощными.

Следует обратить внимание на надежность крепления деталей и тщательность монтажа, так как от этого в значительной степени будут зависеть надежность и долговечность работы регулятора. Наиболее ответственные соединения, особенно в регулирующем каскаде и реле обратного тока, должны быть продублированы дополнительным проводом или винтом крепления. Теплоотвод, ось резистора R_2 и другие детали не должны касаться металлического шасси регулятора или его крышки, так как это приведет к короткому замыканию в схеме (а в некоторых случаях и аккумуляторной батареи) на корпус. Желательно предусмотреть специальный провод для соединения корпуса реле с корпусом автомобиля.

После наладки и проверки работы регулятора на автомобиле нужно покрыть все его детали и особенно места паек влагозащитным лаком.

Регулировка

Прежде чем приступить к регулировке, необходимо тщательно проверить соответствие соединения деталей схемы, особенно правильность включения транзисторов и диодов.

Для проверки регулятора напряжения необходим реостат, допускающий ток до 3 *а* при сопротивлении 3,5 или 7 *ом* (в зависимости от сопротивления обмотки возбуждения генератора). Реостат включают между массой («минус» источника питания) и зажимом *Ш*; он заменяет при наладке генератор. Желательно в эту цепь включить амперметр постоянного тока для контроля тока возбуждения.

Зажим *Б* подсоединяют к «плюсовому» зажиму источника питания. Источником питания может служить выпрямитель на напряжение 15 — 16 *в* и ток 3 *а* (например, выпрямитель ВСП-30) или две аккумуляторные батареи, соединенные последовательно.

Регулятор напряжения проверяют в следующем порядке. Коллектор транзистора T_4 отсоединяют от схемы. На регулятор от источника питания подают напряжение 3 — 5 *в*. Увеличивая напряжение, наблюдают за током, проходящим через реостат и транзи-

стор T_3. Ток должен увеличиваться. При напряжении 13,5—16 *в* транзистор T_1 должен отпереться, а транзистор T_3 — запереться, ток должен резко уменьшиться. После этого плавно уменьшают напряжение источника питания и замечают напряжение, при котором ток появится. Разность напряжений, при которых ток прекращается и появляется, не должна быть более 1 *в*; бо́льшая величина указывает на недостаточный коэффициент усиления транзисторов.

Если при увеличении напряжения ток не появляется или не прекращается, значит, в схеме неисправность. В этом случае необходимо покаскадно проверить регулятор. Для этого отсоединяют резистор R_5 от коллектора транзистора T_1 и проверяют измерительный элемент. Подключив вольтметр постоянного тока между коллектором и эмиттером транзистора T_1, увеличивают напряжение. Вольтметр должен показывать увеличение напряжения, а затем резкое уменьшение, как это показано на кривой на рис. 22. Если этого не происходит, следует проверить транзистор T_1.

Наблюдая за показаниями вольтметра, поочередно через резистор сопротивлением примерно 3 *ком* соединяют базу транзистора с «минусом» и «плюсом» источника питания. В первом случае транзистор должен отпереться, а вольтметр — показывать напряжение примерно 1 *в*. Во втором случае транзистор должен быть заперт, а вольтметр показывать напряжение источника питания. Если транзистор запирается или отпирается плохо, то его следует заменить.

При исправном транзисторе проверяют цепочку $Д_1R_1R_2R_3$. Для этого вольтметр подсоединяют между движком резистора R_2 и «минусом» источника питания. При увеличении напряжения вольтметр должен показывать увеличение напряжения, а по достижении 13 — 14 *в* увеличение напряжения должно прекратиться (см. кривую *1* на рис. 6,*б*). Если имеется отклонение, надо проверить резисторы и заменить стабилитрон $Д_1$.

Транзисторы T_2 и T_3 регулирующего элемента проверяются следующим образом. Отсоединив базу транзистора T_3 от диода $Д_2$, через резистор сопротивлением 100 *ом* замыкают ее на корпус регулятора. При этом через коллектор транзистора и реостат должен проходить ток, равный максимальному току возбуждения генератора. При замыкании на «плюс» источника питания ток должен резко уменьшиться и быть не более 20 *ма*. Если транзистор исправен, подсоединяют его базу к диоду $Д_2$ и аналогично проверяют транзистор T_2.

Устранив неисправность, проверяют регулятор в целом.

Устройство защиты выходного транзистора проверяют при исправном регуляторе напряжения. Напряжение источника питания устанавливают несколько меньшим номинального, чтобы через транзистор T_3 и резистор R_6 проходил ток, близкий к максимальному. Затем подсоединяют коллектор транзистора T_4 к коллектору транзистора T_1. Уменьшая сопротивление реостата, увеличивают ток через резистор R_6 до тех пор, пока транзистор T_4 не отопрется и не запрет транзисторы T_2 и T_3. Ток при этом должен будет полностью прекратиться.

Подбором сопротивления резистора R_6 можно увеличить или уменьшить максимальный ток, который в дальнейшем будет протекать через обмотку возбуждения генератора.

Ограничитель максимального тока проверяют аналогичным образом. Через диоды $Д_7$, $Д_8$ от аккумуляторной батареи через реостат сопротивлением 0,5 — 1,0 *ом* пропускают ток 18 — 20 *а*. При

этом токе транзистор T_4 должен быть отперт падением напряжения (1,2 — 1,5 *в*) на диодах. Ток через транзистор T_3 должен прекратиться. Если этого не произойдет, то необходимо будет уменьшить сопротивление резистора R_8. Подбором сопротивления этого резистора устанавливают максимально допустимый ток нагрузки генератора.

После окончательной регулировки регулятор собирают и устанавливают в автомобиль.

Установка и испытания

Подключают регулятор в схему электрооборудования автомобиля в следующем порядке. Отсоединяют один из проводов, идущих к аккумуляторной батарее.

Отсоединяют провода, идущие к зажимам *Б*, *Я*, *Ш* стандартного реле-регулятора, и подсоединяют их к соответствующим зажимам электронного регулятора.

После проверки правильности соединения подключают аккумуляторную батарею, наблюдая при этом, не появляется ли в месте контакта искра, что будет указывать на неправильность соединения или короткое замыкание в регуляторе.

Включив зажигание, проверяют потребляемый ток по амперметру на щитке автомобиля (не должен превышать 5 *а*).

Запустив двигатель и вращая ось резистора R_2, убеждаются, что на средних и больших оборотах аккумуляторная батарея подзаряжается.

Для точной установки оптимального напряжения (см. табл. 1) необходим вольтметр постоянного тока с точностью отсчета не хуже 0,1 *в*; подсоединив его к аккумуляторной батарее, резистором R_2 устанавливают необходимое напряжение (для автомобилей, эксплуатируемых в центральной полосе, это напряжение равно 13,9 *в*); напряжение следует устанавливать только после прогрева двигателя.

Испытания работы реле сводятся к проверке изменения напряжения на аккумуляторной батарее при изменении частоты вращения двигателя и нагрузки. Если напряжение меняется не более чем на 0,2 *в*, то регулятор работает нормально.

При отклонении напряжения более указанного с изменением нагрузки необходимо проверить максимальный ток нагрузки. Часто он бывает выше допустимого для генератора. Например, генератор Г-108М автомобиля «Москвич-408» допускает максимальный ток 20 *а*, а максимальный потребляемый ток при четырехфарном исполнении составляет 25 *а*. В этом случае напряжение на аккумуляторе будет уменьшаться за счет срабатывания ограничителя максимального тока или от перегрузки генератора.

Если причина значительного изменения напряжения все же в самом регуляторе, то следует подобрать сопротивление резистора R_6.

При недостаточных пределах регулировки напряжения генератора нужно подобрать сопротивления резисторов R_1 и R_3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВНИМАНИЮ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

В издательстве «Энергия» (Массовая радиобиблиотека) в течение этого года выйдут в свет следующие книги.

А. А. Крючков. Малогабаритный транзисторный телевизор «Спутник».

Ю. Д. Пахомов. Специализированные магнитофоны.

Л. Е. Новоселов, О. Л. Шапиро. Магнитолы, магниторадиолы и радиолы высшего и первого класса выпуска 1966—1969 г. (устранение неисправностей и регулировка).

Ковалев Венедикт Григорьевич

Электронные регуляторы напряжения автомобилей

Редактор *Е. К. Сонин*

Обложка художника *А. А. Иванова*

Технический редактор *О. Д. Кузнецова* Корректор *А. К. Улегова*

Сдано в набор 1/III 1971 г. Подписано к печати 17/IX 1971 г. Т-14377
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 3,31
Тираж 50 000 экз. Цена 14 коп. Зак. 94

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Шлюзовая наб., 10.

Цена 14 коп.